ACTUALITÉS SCIENTIFIQUES.

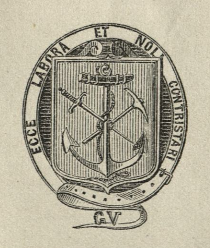
LA LUMIÈRE

ET

LES CLIMATS,

PAR

M. R. RADAU.



PARIS,

GAUTHIER-VILLARS, IMPRIMEUR-LIBRAIRE
DU BUREAU DES LONGITUDES, DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE,
SUCCESSEUR DE MALLET-BACHELIER,
Quai des Augustins, 55.

1877

LA LUMIÈRE

ET

LES CLIMATS.

Au milieu de l'infinie variété de formes qui naissent et disparaissent à la surface du globe, et dans l'existence desquelles se reflète le cours de l'année, chaque coin de la Terre garde cependant une sorte d'individualité propre que l'on appelle le *climat* du lieu.

Le climat, dans l'acception la plus large de ce mot, comprend toutes les conditions physiques, propres à une contrée donnée, qui exercent une influence générale et constante sur les êtres organisés. Il se révèle dans l'aspect du paysage et se trouve empreint sur la flore et la faune de chaque région, car les animaux, aussi bien que les plantes que produit un pays, sont en harmonie avec cet ensemble de circonstances extérieures au milieu desquelles ils se développent. Déplacer une espèce, c'est presque toujours l'exposer à des influences nuisibles qui la font dégénérer et dépérir; lorsqu'on réussit à l'acclimater dans un autre milieu, elle s'y accommode le plus ordinairement par un chan-

gement quelconque qui s'opère dans ses caractères biologiques. C'est ainsi que de quelques espèces originaires des pays les plus chauds du globe sont issues des races appropriées aux régions froides par le développement du pelage. Partout se retrouve, manifeste, inévitable, l'influence du milieu.

Quels sont maintenant les éléments divers qui déterminent le climat d'une contrée? Autrefois on ne considérait que la température; mais peu à peu le nombre des conditions dont on a tenu compte s'est singulièrement accru. Humboldt désigne par le mot *climat* « toutes les modifications de l'atmosphère dont nos organes sont affectés d'une manière sensible, telles que la température, l'humidité, les variations de la pression barométrique, la tranquillité de l'air ou les effets des vents hétéronymes, la charge ou la quantité de tension électrique, la pureté de l'atmosphère ou ses mélanges avec des émanations gazeuses plus ou moins insalubres, enfin le degré de diaphanéité habituelle, cette sérénité du ciel, si importante par l'influence qu'elle exerce non-seulement sur le rayonnement du sol, sur le développement des tissus organiques dans les végétaux et la maturation des fruits, mais aussi sur l'ensemble des sensations morales de l'homme (1). »

Néanmoins les recherches météorologiques,

---

(1) *Fragments de climatologie et de géologie asiatiques*, t. II; Paris, 1831.

destinées à nous faire connaître le climat des zones diverses, n'embrassent généralement qu'une partie de ce vaste programme. On observe les oscillations du thermomètre, afin d'en déduire la température moyenne des saisons et celle de l'année; on surveille, à l'aide du baromètre, la pression sans cesse changeante de l'atmosphère; on détermine les vents dominants, le régime des pluies, l'humidité moyenne de l'air, la fréquence et la marche des orages, l'état électrique ordinaire des couches inférieures, la quantité d'ozone qui s'y trouve, et d'autres données étroitement liées aux précédentes. La lumière a été jusqu'ici à peu près complétement négligée; à peine si l'on a vu se produire quelques tentatives isolées pour mesurer les variations de cet élément important et pour en déterminer le rôle dans les phénomènes de la végétation (1).

Il serait temps cependant de songer à des observations régulières et suivies qui pourraient nous apprendre ce qu'est la lumière pour les climats terrestres. De quelle façon est-elle distribuée à la surface du globe? Comment varie-t-elle avec l'heure de la journée et avec les saisons? Quelle est l'influence qu'exercent les nuages? Jusqu'à quel point les rayons lumineux agissent-ils sur

---

(1) Ce travail a vu le jour une première fois en 1867; depuis dix ans, des recherches nouvelles sont venues s'ajouter à celles que l'on possédait alors; mais il reste encore beaucoup à faire.

l'évolution de la vie organique? Voilà bien des questions auxquelles la science ne répond encore que d'une manière fort incomplète.

Parmi les observatoires, je ne vois que Montsouris qui ait fait entrer l'étude des radiations solaires dans le programme de ses travaux. J'exposerai ailleurs les méthodes très-diverses qui ont été proposées ou même expérimentées, et les résultats qu'elles ont donnés. Je ne veux résumer ici que les faits principaux concernant l'importance de la lumière au double point de vue de la biologie et de la climatologie.

I. — ACTION DE LA LUMIÈRE SUR LA VIE ORGANIQUE.

« L'organisation, le mouvement spontané, la vie, n'existent qu'à la surface de la Terre, dans les lieux exposés à la lumière. On dirait que la fable du flambeau de Prométhée était l'expression d'une vérité philosophique qui n'avait pas échappé aux anciens. Sans la lumière, la nature était sans vie : elle était morte et inanimée; un Dieu bienfaisant, en apportant la lumière, a répandu sur la surface de la Terre l'organisation, le sentiment et la pensée. » Ces paroles de Lavoisier montrent qu'il a pressenti ce que les travaux de ses successeurs nous ont appris sur le rôle capital que la lumière du Soleil joue dans les phénomènes de la vie organique, et surtout dans ceux de la vie végétale.

Vers le milieu du XVIII[e] siècle, Charles Bonnet

avait démontré, par une série d'expériences ingénieuses, que la lumière exerce sur les parties vertes des végétaux une sorte d'attraction en vertu de laquelle la tige d'une plante que l'on met à l'obscurité s'incline vers les ouvertures par lesquelles pénètre un rayon de lumière. Il avait découvert que, plongées dans l'eau, les plantes dégagent des bulles d'air lorsqu'elles sont exposées à l'action du Soleil.

De son côté, Priestley avait annoncé, en 1772, que les plantes purifient l'atmosphère que les animaux vicient par leur respiration; plus tard, il avait reconnu qu'elles ne remplissent pas cette fonction d'une manière continue, mais qu'à certains moments, loin de purifier l'air, elles le rendent impropre à l'entretien de la vie. Il était réservé à un médecin hollandais, Ingenhousz, d'expliquer cette contradiction en montrant que la respiration des plantes est réglée par le Soleil. Voici comment il rend compte lui-même de sa découverte, dans ses *Expériences sur les végétaux*, publiées en 1780 :

« A peine, dit-il, fus-je engagé dans ces recherches, que la scène la plus intéressante s'ouvrit à mes yeux. J'observai que les plantes n'ont pas seulement la faculté de corriger l'air impur en six jours ou plus, comme les expériences de M. Priestley semblent l'indiquer, mais qu'elles s'acquittent de ce devoir important dans peu d'heures de la manière la plus complète; que cette

opération merveilleuse n'est aucunement due à la végétation, mais à l'influence de la lumière du Soleil sur les plantes; qu'elle commence seulement quelque temps après que le soleil s'est élevé sur l'horizon, qu'elle est suspendue entièrement pendant l'obscurité de la nuit; que les plantes ombragées par les bâtiments élevés ou par d'autres plantes ne s'acquittent pas de ce devoir, c'est-à-dire n'améliorent pas l'air, mais au contraire exhalent un air malfaisant et répandent un vrai poison dans l'air qui nous environne; que la production du bon air commence à languir vers la fin du jour et cesse entièrement au coucher du soleil; que toutes les plantes corrompent l'air environnant pendant la nuit; que toutes les parties de la plante ne s'occupent pas de purifier l'air, mais seulement les feuilles et les rameaux verts; que les plantes âcres, puantes et même vénéneuses s'acquittent de ce devoir comme celles qui répandent l'odeur la plus suave, et qui sont les plus salutaires. »

On savait donc, depuis Ingenhousz, que, sous l'influence de la lumière, les plantes dégagent un gaz qui rend l'air plus respirable, tandis que les exhalaisons des animaux le rendent impropre à la respiration. Mais quel était ce gaz? Cette question ne resta pas longtemps sans réponse. Lavoisier, en étudiant la respiration des animaux, avait trouvé qu'ils absorbent l'oxygène de l'air, que cet oxygène opère la combustion des substances alimentaires ingérées dans le sang, et qu'il en résulte un

produit gazeux, l'acide carbonique, qui est exhalé et qui rend l'air irrespirable.

Le Genevois Senebier, compatriote et ami de Charles Bonnet, appliqua cette découverte aux plantes : il montra qu'elles respirent à l'inverse des animaux, en décomposant l'acide carbonique de l'air et en dégageant de l'oxygène. Toutes ces expériences furent, dans la suite, reprises et confirmées par Th. de Saussure ; mais ce sont surtout les travaux plus récents de M. Boussingault, de MM. Cloëz et Gratiolet qui ont achevé d'élucider la question.

Il est facile de constater l'action instigatrice que la lumière exerce sur les feuilles des végétaux, à l'aide d'une expérience qui est à la portée de tout le monde. On n'a qu'à introduire une plante aquatique dans une carafe de verre remplie d'eau de source, à laquelle on a ajouté une certaine proportion d'eau de Seltz afin de la charger d'acide carbonique ; on renverse alors la carafe dans un vase plein d'eau, de manière que le liquide intérieur descende jusqu'à un certain niveau. Cet appareil étant exposé au soleil, on voit immédiatement les feuilles de la plante immergée se couvrir de bulles qui montent à la surface et se réunissent au-dessus du liquide. Le gaz qui se dégage ainsi est de l'oxygène ; on peut s'en assurer en y introduisant une mèche enflammée, que l'on voit aussitôt entrer dans une combustion des plus vives. Avec les végétaux aériens l'expérience est moins rapide ; cependant on peut convertir en oxygène tout l'acide carbonique con-

tenu dans une cloche renversée, en y laissant pendant une journée une plante saine et fraîche exposée au soleil.

M. Boussingault a montré que le volume d'oxygène dégagé par les feuilles est égal au volume d'acide carbonique disparu, d'où il suit que la quantité d'oxygène mise en liberté est précisément celle qui était contenue dans l'acide carbonique. Le dégagement de gaz augmente et diminue avec l'intensité de la lumière : un nuage qui passe le ralentit, et il s'arrête dans l'obscurité. M. Van Tieghem avait cru remarquer que l'excitation due à la lumière persistait encore quelque temps après que celle-ci avait cessé de frapper le végétal, mais cette observation n'a pas été confirmée. Cependant, pour les plantes aériennes, la réduction de l'acide carbonique a déjà lieu lorsqu'elles sont simplement éclairées par la lumière diffuse; les plantes aquatiques seules ont besoin d'être exposées directement au soleil.

On a encore constaté qu'en général la face supérieure des feuilles dégage beaucoup plus d'oxygène que la face inférieure. Au reste, les parties vertes des végétaux jouissent seules de la propriété de décomposer l'acide carbonique, et cette fonction s'accomplit d'ordinaire avec une grande activité. M. Boussingault, ayant rempli un vase de verre avec des feuilles de vigne, le plaça au soleil, et y fit passer un courant d'acide carbonique ; il ne recueillit à la sortie que l'oxygène pur. Une seule feuille de

nénuphar abandonne pendant chaque été environ 300 litres d'oxygène; mais il faut qu'elle ait pour collaborateur le soleil.

Dans l'obscurité, les plantes respirent à la façon des animaux, c'est-à-dire qu'elles absorbent de l'oxygène, brûlent du carbone et dégagent de l'acide carbonique; seulement le phénomène de combustion est loin d'avoir chez les végétaux la même importance que dans le règne animal.

D'après les recherches de M. Corenwinder, la quantité d'acide carbonique exhalée par les plantes, pendant la nuit, est beaucoup moins considérable que celle qui est décomposée pendant le jour (1); de plus l'absorption d'oxygène et le dégagement d'acide carbonique n'ont lieu, pour toutes les plantes, que pendant la germination, et le plus souvent ne s'observent plus dans l'âge adulte. C'est que la plante, qui ne se meut pas, n'a pas besoin de cette oxydation incessante qui produit la cha-

---

(1) D'après M. Boussingault, une feuille décompose moyennement, par décimètre carré et par heure, 7^{cc} d'acide carbonique au soleil et 3^{cc} à l'ombre, soit, dans les conditions ordinaires, environ $5^{cc},3$ par heure de jour, et elle exhale $0^{cc},33$ d'acide carbonique par heure de nuit. En douze heures de jour, un hectare de surface verte décomposerait donc 63360^{lit} d'acide carbonique et fixerait 34^{kg} de carbone; il en perdrait 2^{kg} en douze heures de nuit, de sorte que le gain total serait de 32^{kg} par jour, et même plus grand en été. D'après M. E. Marchand, la récolte d'un champ de trèfle, opérée au mois de juin, a donné effectivement 3700^{kg} de carbone par hectare, après 107 jours de végétation, ce qui représente un gain d'environ 35^{kg} par jour.

leur animale, source de la force musculaire ; c'est avant tout un appareil réducteur qui, en décomposant l'acide carbonique et fixant le carbone, prépare des provisions de combustible. Au contraire, les êtres qui se meuvent sont des machines à feu qui brûlent le carbone accumulé par les végétaux.

Les feuilles pilées ne décomposent plus l'acide carbonique. D'après les expériences de M. Jodin, les solutions de chlorophylle se décolorent peu à peu à la lumière, en absorbant l'oxygène de l'air. La lumière, agissant sur les substances mortes, ou la vie se développant à l'ombre, donne lieu à des phénomènes d'oxydation ; la lumière et la vie, ensemble, produisent la décomposition de l'acide carbonique, et la plante verdit. Nous verrons plus loin quelle est l'influence spéciale des rayons diversement colorés.

Le carbone, que les végétaux retiennent pendant qu'ils dégagent l'oxygène, se fixe dans les tissus et y donne naissance à différentes matières organiques en se combinant avec l'eau que les racines tirent du sol. Le charbon et l'eau qui se rencontrent forment ainsi d'abord le glucose, puis d'autres hydrates de carbone : l'amidon, la dextrine, la cellulose, le sucre de canne, etc.

C'est du moins ainsi qu'on a longtemps expliqué la formation de ces principes dans les plantes. Mais on peut aussi admettre, avec M. Boussingault, qu'ils résultent d'un dédoublement de l'acide car-

bonique en oxyde de carbone et en oxygène, et d'une décomposition simultanée de l'eau. La réaction serait alors représentée par la formule

$$CO^2 + HO = CHO + 2O;$$

elle donnerait d'abord du glucose, puis d'autres hydrates de carbone, que des réductions successives transformeraient en produits de moins en moins riches en oxygène, tels que les corps gras, les résines, les essences, etc. Somme toute, il est probable que les plantes décomposent non-seulement l'acide carbonique dont la respiration des animaux remplit l'atmosphère, mais encore l'eau qu'elles puisent dans le sol.

La réduction de l'acide carbonique, et peut-être de l'eau, n'est pas le seul phénomène où se manifeste l'intervention de la lumière dans la vie végétale. Elle provoque probablement la transpiration des feuilles, par laquelle la plante évacue la plus grande partie de l'eau que ses racines tirent du sol, et elle entretient dans ses tissus la circulation de la sève.

Les rayons solaires font verdir les jeunes plantes; élevées à l'ombre, elles s'étiolent. C'est le soleil qui colore les fleurs. On en connaît qui naissent blanches et qui prennent, sous l'action directe de la lumière, une teinte rose, rouge, bleue, violette. La corolle des espèces qui croissent sur les montagnes a généralement des couleurs plus vives que celle des espèces qui poussent dans la plaine :

c'est que la lumière a plus d'intensité sur les hauteurs, où l'air est moins épais. On voit ainsi la teinte de certaines fleurs, comme l'*Anthyllis vulneraria,* devenir de plus en plus foncée à mesure qu'on s'élève en altitude. M. Edmond Becquerel a constaté que, dans une chambre peu éclairée, les fleurs d'un pied de *Crassula* prennent une teinte jaune, et qu'il suffit de les exposer pendant quelques heures au soleil pour les voir se colorer en rouge. Le soleil élabore de même les couleurs des fruits.

Les botanistes savent enfin que la lumière exerce sur les végétaux une action mécanique qui se manifeste par l'inflexion des tiges des plantes héliotropes (tournesol, cresson alénois, etc.), par l'enroulement des plantes volubiles (liseron, haricot, etc.). Il suffit de citer à cet égard les expériences de Tessier, Payer, Gardner, Dutrochet, de MM. Guillemin, Ch. Darwin, Duchartre, H. Muller. Le sommeil des fleurs, les migrations intracellulaires des grains de chlorophylle, qui, d'après les observations de MM. Bœhm, Prillieux, Roze et d'autres botanistes, s'agglomèrent toujours dans la partie la plus éclairée de la cellule, sont des phénomènes du même ordre, qui confirment ce que nous avons dit de l'intervention constante de la lumière dans la vie végétale. Mais le plus important des phénomènes qui viennent d'être énumérés, c'est certainement ce travail d'assimilation du carbone, qui repose sur la ré-

duction de l'acide carbonique répandu dans l'atmosphère, et qui détermine la croissance des plantes.

L'atmosphère fournit à celles-ci le charbon ; les pluies les pourvoient d'hydrogène et d'oxygène ; elles trouvent dans le sol un quatrième élément important, l'azote, qui est indispensable à la formation des divers organes des végétaux, bien qu'il n'y entre qu'en proportions très-faibles. Avec ces quatre substances principales, la plante compose ses tissus et prépare de la matière organique qui servira plus tard à la nourriture des animaux, directement chez les herbivores, indirectement chez les carnivores. Or la réduction de l'acide carbonique s'accomplit sous l'influence de la lumière ; c'est donc à la lumière qu'il faut rapporter tout cet immense travail de synthèse organique qui se fait sous nos yeux au retour du printemps, alors que la terre se couvre de jeunes herbes, et que les feuilles poussent aux arbres sous les rayons bienfaisants du Soleil.

L'influence que l'astre radieux exerce sur la végétation est ainsi d'une nature fort complexe. Il ne fournit pas seulement la chaleur qui couve les germes déposés dans le sol, il entretient aussi la respiration des plantes et, en quelque sorte, leur croissance. Or nos aliments et nos combustibles proviennent directement, ou par voie de transformations successives, du règne végétal ; on peut donc dire qu'ils représentent une somme de force vive empruntée au Soleil, sous forme de vibrations

lumineuses, au moment où se sont groupés et combinés les éléments dont les plantes sont faites. La force qui a été emmagasinée par ce lent travail des affinités chimiques se retrouve, au moins en partie, dans les efforts mécaniques que l'animal accomplit sans cesse et par lesquels il dépense une partie de sa propre substance ; elle se retrouve aussi dans le travail des machines qui sont alimentées par la houille ; elle se transforme en chaleur lorsque du bois est brûlé dans un foyer ou une substance nutritive brûlée dans le sang d'un être vivant qui respire, mais qui ne se meut pas. C'est ainsi que la lumière, en faisant croître et prospérer les plantes, prépare aux habitants de la Terre leur nourriture et crée pour eux une source intarissable de puissance mécanique.

La quantité de lumière que reçoit chaque jour un point donné de la surface terrestre est dès lors d'une importance capitale pour l'évolution de la vie organique qui s'y accomplit. On comprend qu'il sera nécessaire de la mettre en ligne de compte dans les recherches de climatologie ; elle fournira l'élément principal de ce qu'on pourrait appeler le *climat chimique*.

Mais ce n'est peut-être pas tout. On peut encore concevoir une action directe, immédiate de la lumière sur l'organisme animal.

En effet, la vie animale et la vie végétative, non-seulement se confondent aux limites, mais encore présentent de nombreuses analogies lorsqu'on étu-

die les réactions chimiques en vertu desquelles s'accomplit le mouvement circulaire de la matière dans les organismes vivants. Les feuilles des plantes respirent de nuit comme les animaux; les fruits respirent toujours ainsi. D'un autre côté, nous savons, par les travaux de M. Morren, que les animalcules de couleur verte ou rouge qui apparaissent à la surface des mers et des eaux stagnantes respirent, sous l'influence du soleil, comme les végétaux, en réduisant l'acide carbonique de l'atmosphère et abandonnant de l'oxygène.

L'action de la lumière sur la vie animale a été étudiée par plusieurs expérimentateurs. William Edwards, ayant placé des œufs de grenouille dans deux vases pleins d'eau, dont l'un était transparent et l'autre opaque, a vu les œufs exposés à la lumière se développer régulièrement et les autres avorter. La même expérience, répétée avec des têtards de crapauds, a donné un résultat analogue. Moleschott a constaté que la respiration des grenouilles est plus active sous l'influence du jour que dans l'obscurité, et que la production d'acide carbonique s'accroît avec l'intensité de la lumière. M. Jules Béclard a étudié à son tour l'influence des lumières colorées sur le développement des œufs de mouche, sur la respiration des grenouilles, etc. M. Paul Bert a signalé l'espèce d'attraction que certaines couleurs exercent sur de petits insectes.

L'effet de la lumière est fort sensible sur le pigment des différentes parties des animaux. Le

soleil hâle la peau et rougit le sang. Il est probable qu'en élevant tel animal dans les ténèbres, on le rendrait chlorotique comme les plantes qui germent dans une cave. Le protée ou salamandre aveugle des cavernes est tout blanc. Les oiseaux de nuit ont un plumage sombre. Chez les mammifères, les oiseaux, les batraciens, etc., la nuance du dos est plus foncée que celle du ventre (1). Les animaux des régions polaires sont couleur de boue et de neige ; à mesure qu'on approche de l'équateur, la coloration de la faune devient de plus en plus variée et splendide; l'oiseau-mouche, dont le plumage semble tissé de lumière, est pour ainsi dire le chef-d'œuvre des rayons solaires.

M. Maurice Sand, dans son ouvrage sur les *Papillons,* établit, entre les couleurs des insectes et les tons dominants du milieu où ils se développent, des rapprochements fort curieux et frappants. Les localités que fréquentent les papillons et l'époque de l'année où ils se montrent leur impriment toujours un cachet particulier. « Les *Piérides,* avec leur blancheur florescente, leurs dessins de mousse délicate, leur jaune de primevère ou de bouton d'or, sont bien les papillons des prairies du printemps ; les *Coliades*, soufre et souci

---

(1) M. Georges Pouchet a fait des observations fort intéressantes sur les poissons et les crustacés qui changent de couleur avec le fond sur lequel ils vivent. Il paraît que la lumière agit ici par l'intermédiaire de l'œil.

(*Edusa* et *Hyale*), ne paraissent au contraire qu'à l'automne, quand la nature a déjà pris la teinte jaune et brûlée ; les *Lycénides,* couleur d'azur, ne vivent que dans l'air bleu de l'été ; les *Argynnis,* aux tons cuivrés parsemés d'or ou d'argent, ne fréquentent que les endroits séchés par le soleil... »

Une lettre de George Sand développe encore davantage ces analogies mystérieuses. « Comment les *Morpho,* ces lépidoptères métalliques de la Nouvelle-Grenade, qui volent sur les mines de cuivre, prennent-ils l'éclat et les reflets chatoyants de l'azurite et de diverses combinaisons de couleur que le minerai cache au sein de la terre ?... Tu dis que les Indiens ne s'en cassent pas la tête, et qu'ils supposent tout bonnement que c'est le vert-de-gris qui les colore de la sorte. Mais moi, je crois qu'ils ont raison, ces bons sauvages, et que la nature tire tous ses matériaux de travail du même alambic. Seulement comment s'y prend-elle ? Comment, dans les froides régions où elle n'a plus le concours d'un généreux soleil pour faire pleuvoir diamants et rubis sur ses créatures, compose-t-elle avec les frais reflets de la neige les sombres couleurs des lichens et les satins des écorces, ces douces harmonies des espèces boréales ?... »

L'homme se ressent également de l'influence de la lumière. Les Esquimaux blanchissent pendant leur long hiver. Dans les villes de l'Orient, il y a des quartiers dont les habitants, confinés dans des ruelles étroites ne voient que rarement le jour :

ils ont le teint blafard, un teint poivre et sel ; les Juifs du Caire sont dans ce cas. Le teint de la population de certains quartiers de Paris s'est notablement amélioré depuis trente ans, parce qu'on a ouvert les portes de la ville au soleil. Enfin la coloration des nègres n'est certainement pas sans rapport avec le soleil des tropiques (1).

Peut-être même pourrait-on aller plus loin et voir une influence solaire dans la perfection croissante de toutes les formes animales que l'on rencontre en allant du pôle vers l'équateur. L'œil est l'organe qui dépend le plus directement de la lumière : les animaux dont la vie est souterraine sont souvent aveugles. Quelle différence d'éclat entre l'œil terne du Scandinave et l'œil noir de la femme Arabe, cet œil de gazelle qui semble refléter les clartés du ciel d'Orient !

Enfin la lumière agit indirectement sur les évolutions vitales par l'influence incontestable qu'elle a sur nos sensations et même sur les manifestations de l'instinct animal. Elle réveille la vie sur le globe ; elle réjouit, elle encourage. Les ténèbres sont pour nous l'image de la mort ; naître, c'est voir le jour. Alexandre de Humboldt fait très-bien res-

---

(1) M. Trémaux (*le Soudan*) cite beaucoup de faits à l'appui de cette action directe du soleil. Toutefois, il faut se garder de trop généraliser ces déductions, car les exceptions sont nombreuses, ainsi que l'a montré M. le Dr Pruner-Bey (*Questions relatives à l'Anthropologie générale* ; Paris, 1864).

sortir l'influence du climat et surtout celle de la lumière sur l'état moral de l'homme, dans un passage qu'on me permettra de citer ici, et qui complétera ce que j'ai dit de l'importance climatologique de cet élément.

« Il existe, dit l'illustre voyageur, une physionomie naturelle qui appartient exclusivement à chacune des contrées de la terre. Les expressions de *nature suisse* ou de *ciel d'Italie,* en usage parmi les peintres, ont pris naissance dans le sentiment confus de ces caractères propres à telle ou telle région. L'azur du ciel, les jeux de l'ombre et de la lumière, les vapeurs qui s'accumulent dans le lointain, les formes des animaux, la vigueur de la végétation, l'éclat de la verdure, le contour des montagnes, sont autant d'éléments qui déterminent l'impression que produit sur nous une contrée....

» La connaissance du caractère propre à certaines régions se rattache par un lien très-intime à l'histoire de la race humaine et de la civilisation. Si les premiers progrès de la civilisation ne sont pas uniquement déterminés par des influences physiques, la route qu'elle prend plus tard, le caractère national, les dispositions plus sombres ou plus sereines des esprits, dépendent en grande partie des circonstances climatologiques. Quelle puissance le ciel de la Grèce n'a-t-il pas exercée sur le génie des habitants de cette contrée ! Comment les peuples qui s'établirent sous cet heureux et beau climat, entre l'Euphrate, l'Halys et la mer

Égée, ne se seraient-ils pas éveillés de bonne heure aux mœurs élégantes et aux sentiments délicats ?... La poésie des Grecs et les chants des peuples du Nord doivent en grande partie leur caractère distinctif à la forme des plantes et des animaux, aux montagnes et aux vallées qui entouraient le poëte, à l'air qui se jouait autour de lui ; et, pour ne rappeler que des choses qui nous soient familières, qui ne se sent différemment affecté à l'ombre épaisse des hêtres, sur des collines couronnées de sapins solitaires, et dans les prairies où le vent murmure à travers le feuillage tremblant des bouleaux ? Ces formes végétales de nos climats éveillent tour à tour dans notre esprit des images mélancoliques, sévères ou joyeuses. L'influence du physique sur le moral, cette action réciproque et mystérieuse du monde sensible et du monde immatériel, donne à l'étude de la nature, lorsqu'on l'embrasse d'un point de vue assez élevé, un attrait singulier, trop méconnu jusqu'à nos jours (1). »

M. le Dr Pauly n'hésite pas à affirmer que la lumière constitue le charme principal du climat algérien : « J'ai rencontré, dit-il, dans ma carrière de médecin militaire, bien des personnes qui, ayant quitté l'Algérie sous la pression de raisons impérieuses de santé, de famille ou de carrière, conservaient au fond du cœur une secrète tristesse et une

---

(1) Humboldt, *Tableaux de la nature*, liv. IV : *De la Physionomie des plantes.*

inconcevable nostalgie de cette belle lumière. » Ajoutons pourtant que M. Pauly croit avoir remarqué que parfois cette lumière devient « blessante, agressive », et qu'elle représente alors une influence morbide, une cause pathogénique: c'est surtout quand le ciel est parsemé de très-petits nuages blancs ou de plaques laiteuses (1).

II. — PHOTOCHIMIE.

Lorsque l'on étudie de plus près l'action de la lumière sur les plantes, on s'aperçoit qu'elle dépend essentiellement de phénomènes chimiques analogues à ceux sur lesquels repose la photographie. La lumière produit dans un grand nombre de substances des changements moléculaires qui favorisent le jeu des affinités. Malheureusement la *Photochimie,* qui comprend l'étude de tous les phénomènes de ce genre, n'est encore qu'une science à peine ébauchée. Nous allons cependant essayer d'indiquer brièvement les faits connus.

On sait que le prisme décompose la lumière blanche en une infinité de rayons diversement colorés et diversement réfrangibles, dont les nuances se dégradent insensiblement du rouge au violet en passant par les six couleurs principales (rouge, orangé, jaune, vert, bleu, violet). Ces rayons qui

---

(1) *Esquisses de climatologie comparée.* Paris, 1874.

affectent la rétine de l'œil constituent la lumière proprement dite, la lumière visible. Ils sont chauds et peuvent agir chimiquement sur les substances dites *sensibles;* mais ils ne produisent pas la totalité des effets calorifiques et chimiques des rayons solaires. Le spectre visible se prolonge des deux côtés par les radiations obscures. Au delà du rouge s'étend la région de la chaleur obscure; au delà du violet, celle des rayons chimiques obscurs. Ces derniers, les rayons *ultra-violets,* deviennent visibles, dans certaines circonstances, avec une faible teinte gris-lavande. Ils ne produisent pas de chaleur appréciable, mais ils ont une forte action sur les substances sensibles et se transforment facilement en rayons lumineux lorsqu'ils sont projetés sur une substance fluorescente (1).

La partie lumineuse du spectre solaire est sillonnée de raies obscures. Ce sont des sortes de brèches qui attestent le passage des rayons à travers certains milieux doués d'un pouvoir absorbant spécial. La plupart de ces raies sont dues, selon toute probabilité, à l'action de vapeurs métalliques qui enveloppent le Soleil. Le spectre infra-rouge et le spectre ultra-violet présentent des raies ou espaces inactifs, tout comme le spectre visible. Il est facile de les mettre en évidence pour le

---

(1) Ajoutons que, d'après M. Draper, le peu d'intensité calorifique de la région violette du spectre tient surtout à la dilatation considérable qu'elle subit en traversant le prisme.

spectre ultra-violet, en s'aidant des procédés de la Photographie. Dans le spectre infra-rouge, M. Edmond Becquerel a réussi à rendre visibles un grand nombre de raies, en profitant d'une curieuse propriété des corps phosphorescents. La lueur passagère que ces corps émettent après avoir été exposés à la lumière est détruite par la chaleur obscure ; les points d'une surface phosphorescente qui correspondent aux espaces inactifs du spectre obscur projeté sur cette surface continuent donc seuls de briller et révèlent ainsi l'existence des raies (1). Toutes ces raies ou lacunes ont d'ailleurs dans le spectre des positions parfaitement invariables, et c'est grâce à cette fixité qu'elles fournissent des repères précieux lorsqu'il s'agit de définir d'une manière précise la coloration thermique, optique ou chimique d'un rayon ; nous employons le mot *coloration,* par une extension usitée en Physique, pour désigner la place qu'un rayon, visible ou non, occupe dans le spectre complet.

Les actions chimiques de la lumière ont été étudiées surtout en vue d'un but pratique : la fixation des images de la chambre obscure. On a découvert qu'un grand nombre de substances changent de couleur lorsqu'elles sont exposées à certaines radiations lumineuses, et ce fait, sans avoir été

(1) M. Draper, puis MM. C. Vogel et Lohse, ont réussi à photographier aussi le spectre infra-rouge ; l'image obtenue était une image *positive.*

approfondi ni expliqué, a servi de point de départ à l'art de la Photographie.

Scheele avait remarqué, dès 1770, que le chlorure d'argent noircit à la lumière du jour. Wedgwood essaya, en 1802, d'utiliser cette propriété du chlorure d'argent pour copier des vitraux d'église ou des gravures, mais il ne put y réussir. Vers 1813, Joseph-Nicéphore Niepce reprit ces recherches et arriva à copier des gravures au moyen d'une couche de bitume de Judée qu'il déposait sur une plaque d'argent bruni ; aux endroits frappés par les rayons solaires, le bitume devenait insoluble dans les essences, tandis que les parties protégées pouvaient être ensuite attaquées et lavées ; on mettait ainsi à nu le métal avec son aspect noir bruni aux endroits que les traits de la gravure avaient recouverts, tandis que les blancs de la gravure étaient représentés par un voile blanchâtre de bitume. Niepce s'associa, en 1826, avec le peintre Daguerre, qui perfectionna la méthode de Niepce et découvrit lui-même, en 1838, un autre procédé fondé sur l'attraction que l'iodure d'argent insolé exerce sur les vapeurs de mercure. Enfin, vers 1839, Talbot inaugura le procédé au chlorure d'argent. Depuis cette époque, la Photographie a fait des pas de géant, mais seulement au point de vue des applications ; la théorie des phénomènes est encore enveloppée d'obscurité. On peut cependant essayer de grouper les effets observés sous plusieurs catégories générales.

Il y a d'abord les actions *réductrices*. Sous l'influence des rayons solaires, l'oxygène et les corps halogènes tendent à abandonner les métaux. Le chlorure et l'azotate d'argent sont décomposés ; de même, en général, les chlorures, bromures, iodures, cyanures des métaux les moins oxydables, les oxydes ou acide ssuroxygénés, etc. Ici la lumière détruit des affinités.

Il y a ensuite les actions combinatrices, dans lesquelles les affinités sont, au contraire, développées par la lumière. L'oxygène, le chlore, le brome tendent, sous cette influence, à se porter sur l'hydrogène et sur les matières organiques. Un mélange de chlore et d'hydrogène se conserve indéfiniment à l'obscurité ; exposé à la lumière, il seliquéfie en donnant naissance à de l'acide chlorhydrique. Le bitume de Judée devient insoluble sous l'action de la lumière, parce qu'il absorbe de l'oxygène. Un grand nombre d'essences et de vernis s'oxydent également à la lumière ; la résine de gaïac bleuit en même temps qu'elle s'oxyde.

En mêlant ensemble une substance qui tend à se décomposer sous l'action de la lumière et une autre qui tend à absorber un des corps qui se séparent, on obtient des effets encore plus énergiques. C'est ainsi que les matières organiques facilitent la réduction des sels d'argent en absorbant l'oxygène qui se dégage. Mais ce qui est surtout remarquable, c'est qu'il suffit d'exposer au soleil une seule des

deux substances sensibles et de la mettre ensuite en contact avec l'autre; le travail moléculaire développé par la lumière se continue après l'insolation, et le rapprochement des deux substances produit ensuite le même effet que s'il avait eu lieu sous l'action directe des rayons solaires. Ainsi, par exemple, pour faciliter la réduction de l'iodure d'argent, on le met en contact avec l'acide gallique après avoir exposé au soleil l'une ou l'autre de ces substances, ou bien on les expose ensemble; l'effet est toujours le même à l'intensité près. Les photographes appellent *sensible* ou *impressionnable* la matière qui reçoit et conserve l'action de la lumière, et *révélatrice* celle qui développe ou complète l'effet chimique; mais cette distinction n'a rien d'essentiel, puisqu'on peut intervertir les rôles des deux corps.

Les faits que je viens de citer prouvent une sorte d'activité persistante de la lumière. M. Niepce de Saint-Victor a découvert beaucoup d'autres faits qui semblent venir à l'appui de cette hypothèse. Une feuille de papier blanc qui a été insolée agit dans l'obscurité sur une préparation sensible, même à distance. Un grand nombre de substances organiques de couleur claire ont la même propriété; on peut même la communiquer, quoiqu'à un moindre degré, à la surface d'une cassure fraîche de porcelaine. Faut-il voir dans ces faits mystérieux les indices d'une *température chimique*, c'est-à-dire d'un état vibratoire déterminé par les rayons so-

laires et persistant après qu'ils ont cessé d'agir (1)?

Outre ces actions, tantôt réductrices, tantôt oxydantes, que la lumière exerce sur les substances sensibles, elle leur communique aussi la propriété d'attirer les vapeurs des corps pour lesquels elles ont de l'affinité; ainsi l'iodure d'argent et le soufre fixent les vapeurs de mercure après avoir été exposés à la lumière. C'est là le point de départ de la découverte de Daguerre.

Nous avons déjà dit que ces actions chimiques ne sont point produites avec la même intensité par les rayons différemment colorés. On a étudié séparément l'effet des différentes régions d'un spectre très-pur, et l'on a constaté que chaque substance a ses rayons qui l'impressionnent plus que tous les autres. Le chlorure d'argent noircit avec le plus de rapidité sous l'influence des rayons violets; il est impressionné par toute la région du spectre située au delà de la raie F de Fraunhofer, c'est-à-dire par

---

(1) M. Jamin entre à ce sujet dans les considérations suivantes : « Il y a, dit-il, des corps, comme la fluorine, qui absorbent la lumière, la condensent sous une forme inconnue, la gardent pendant de longues années et l'abandonnent quand on les chauffe. Tous les corps phosphorescents agissent ainsi, et la force vive qu'ils gardent et dégagent lentement dans l'obscurité pourrait bien, à un moment donné, se transformer en un travail chimique équivalent. La seule condition qu'il faudrait remplir serait de mettre en contact, au moment de produire ce travail, les substances chimiques entre lesquelles il peut s'effectuer ». (*Cours de Physique*, t. III, p. 502.) On pourrait comparer cette propriété des corps à la *mémoire*, comme, d'après M. Luys, le phénomène de mémoire est une phosphorescence organique des cellules cérébrales.

les rayons bleus, violets et gris-lavande, mais le maximum d'effet a lieu vers la raie H. Il en est de même pour le bromure et l'iodure d'argent. La décomposition du bichromate de potasse est déterminée par les rayons verts, bleus, violets et ultra-violets. Dans ces cas, la chaleur obscure et les rayons les plus lumineux se montrent à peu près sans action ; c'est du côté du violet que se produisent les effets réducteurs. Mais les rayons violets peuvent aussi agir comme oxydants : ils bleuissent le gaïac et combinent l'oxygène avec le bitume de Judée et les essences ; ce sont encore les mêmes rayons qui déterminent la combinaison du chlore avec l'hydrogène. Les rayons rouges et jaunes ne sont cependant point inefficaces, seulement ils agissent d'une manière différente ; ils continuent et achèvent l'œuvre commencée par les rayons violets. C'est pour cette raison que M. Ed. Becquerel les appelle rayons *continuateurs* et les autres *excitateurs*. Ainsi le chlorure d'argent légèrement impressionné par les rayons violets noircit ensuite sous l'action de tous les rayons visibles.

Les rayons les plus lumineux peuvent encore exercer un autre effet : ils désoxydent et blanchissent le gaïac qui a été bleui par les rayons violets. Sir John Herschel a constaté que ce sont d'ordinaire les mêmes rayons qui attaquent les couleurs végétales ; le vert qu'on extrait des feuilles est surtout sensible à l'action des rayons rouges. M. Baudrimont a trouvé que la lumière

jaune agit fortement sur la couleur bleue du tournesol, et la lumière rouge de même sur le bleu de Prusse. D'après M. H. Vogel et M. Waterhouse, l'addition de certaines matières colorantes, comme le rouge de naphtaline, rend les plaques photographiques très-sensibles à l'action directe des rayons jaunes et des rayons rouges.

On voit, par ces exemples, que l'action de la lumière sur les substances sensibles est bien plus complexe qu'elle ne semble l'être de prime abord (1). Ce qui est certain, c'est que l'effet qu'une lumière de composition inconnue exerce sur l'une quelconque de ces substances ne nous permet point de prévoir celui qu'elle produira sur une autre substance. Une lumière qui bleuit fortement le gaïac blanc peut agir très-peu sur une feuille de papier imprégnée de bichromate de potasse et *vice versa*; celle qui blanchit le gaïac bleu peut rester sans action sur le chlorure d'or, et ainsi de suite.

Quels sont les rayons qui agissent plus spécialement sur les parties vertes des plantes? Cette

(1) D'après Moser, la couche sensible de la rétine serait elle-même un appareil photochimique. Cette hypothèse est confirmée par les récentes expériences de M. Boll et de M. Kühne : il paraît que la couche sensible est rouge pourpre à l'état normal, et se décolore sous l'action de la lumière : la *pourpre visuelle* se restitue incessamment, à mesure qu'elle est détruite. M. Kühne a trouvé dans l'œil d'un lapin décapité l'image d'un carré lumineux découpé dans le volet d'une chambre obscure.

question est loin d'être résolue. Nous avons vu que, stimulées par le soleil, les plantes réduisent l'eau et l'acide carbonique ; il y a là quelque chose d'analogue à l'action désoxydante que les rayons les plus lumineux exercent sur le gaïac bleu ; à première vue, il peut donc paraître assez probable que ce soient les mêmes rayons qui agissent sur les végétaux. Toutefois les opinions sont encore partagées sur ce point, et les résultats obtenus par divers expérimentateurs offrent les contradictions les plus singulières.

Si l'on pouvait s'en tenir aux expériences de M. Draper, de New-York, ce seraient les rayons compris entre l'orangé et le vert, c'est-à-dire les rayons les plus lumineux, qui détermineraient la réduction de l'acide carbonique par la matière verte des feuilles (1). M. Draper remplissait d'eau chargée d'acide carbonique sept tubes de verre qu'il plaçait dans les différentes régions d'un spectre solaire, après avoir introduit dans chacun une feuille de graminée, longue et étroite. Au bout d'un certain temps, il mesurait l'oxygène dégagé dans les tubes. Voici les quantités recueillies dans les sept couleurs principales du spectre : rouge, $0^{cc},3$; rouge et orangé, 20^{cc} ; jaune et vert, 36^{cc} ; vert et bleu, $0^{cc},1$; bleu, rien ; violet, rien. Placés devant un feu de bois, les tubes s'échauffèrent

(1) *Phil. Mag.*, 1844. — Daubeny, en 1836, avait trouvé que les rayons orangés étaient les plus actifs.

sans rien dégager. En comparant les effets produits par la lumière libre ou ayant traversé un écran qui arrêtait les rayons chimiques, M. Draper trouva qu'ils étaient presque identiques ; au contraire, la lumière tamisée par un écran opaque qui ne laissait passer que les rayons chimiques ne produisait qu'un effet insensible.

Les expériences qui ont été instituées directement sur des végétaux que l'on faisait croître sous des verres de couleur ont donné les résultats les plus opposés. Ainsi M. Hunt attribue aux rayons bleus et aux rayons chimiques une influence bienfaisante sur la germination et le développement des jeunes plantes ; elles s'étioleraient, au contraire, d'après ses expériences, sous l'action des rayons jaunes et verts. Cependant, dit M. Hunt, quoique l'influence des rayons bleus soit grande pour hâter la germination et favoriser la vigueur des végétaux, leur action est trop stimulante pour permettre à la plante d'arriver à une complète maturité. La séve paraît alors s'employer tout entière à la production d'un beau feuillage d'un vert foncé, mais on ne peut en obtenir des fleurs ni des semences qu'en substituant aux rayons bleus les jaunes, qui sont les plus propres à achever le développement du végétal (1).

Les recherches du Dr Gardner, qui ont été faites avec des lumières prismatiques, donnent des

---

(1) *Philosophical Magazine*, 1843.

résultats qui s'accordent mieux avec ceux de M. Draper. En élevant, dans des boîtes exposées aux différentes couleurs du spectre, des semis de navets, de raves, de pois, etc., M. Gardner a trouvé que la couleur verte des feuilles était développée surtout par les rayons jaunes. Le temps le plus court qui ait suffi pour reverdir un semis de navets étiolés a été de 2^h dans la lumière jaune pur. Une nuance de vert que les rayons jaunes produisaient en 3^h30^m prenait naissance dans l'orangé en 4^h30^m, dans le vert en 6^h; les rayons bleus n'avaient donné, au bout de dix-sept heures, qu'une nuance moitié moins foncée. D'un autre côté, ce sont, d'après M. Gardner, les rayons indigo qui produisent le mouvement des tiges. Les jeunes plantes sur lesquelles on fait tomber un spectre se penchent toutes vers un axe commun parallèle au rayon indigo; celles qui sont exposées aux couleurs rouge, jaune, vert, etc., s'inclinent du côté de ce rayon. Lorsqu'on prolonge suffisamment l'expérience, le semis prend l'aspect d'un champ de blé couché par deux vents opposés.

MM. Cloëz et Gratiolet (1849) ont placé des feuilles de plantes marécageuses dans de l'eau chargée d'acide carbonique et les ont exposées aux rayons solaires tamisés par des verres de couleur; l'analyse du gaz recueilli a montré que le dégagement d'oxygène a lieu avec beaucoup plus d'énergie sous un verre jaune que sous un verre rouge ou bleu. Voici l'ordre dans lequel se suivent, au

point de vue de l'effet produit, les différents verres employés : verre incolore dépoli, jaune, incolore transparent, rouge, vert, bleu. Chose singulière, c'est le verre dépoli qui a toujours donné le meilleur résultat.

Un botaniste allemand, M. J. Sachs, a tenté de mesurer l'effet que la lumière produit sur les plantes aquatiques, en comptant le nombre des bulles gazeuses qui se dégagent de la coupe d'un rameau qu'on expose au soleil dans une dissolution d'acide carbonique. M. Sachs a trouvé que la lumière orangée était presque aussi active que la lumière blanche, tandis que la lumière bleue donnait un dégagement 20 fois moindre. Mais, comme l'a déjà fait remarquer M. Dehérain, ce procédé de mesure n'est pas susceptible d'une grande précision. M. L. Cailletet a trouvé, de son côté, que la lumière verte ne provoquait aucun dégagement d'oxygène, qu'elle favorisait plutôt l'absorption de ce gaz, résultat qui n'est guère d'accord avec ce que nous ont appris d'autres observateurs.

M. Prillieux (1869) a essayé de placer la question sous un jour nouveau en comparant l'action que produisent les diverses couleurs *à intensité lumineuse égale*. En immergeant les flacons remplis de feuilles dans des manchons renfermant diverses dissolutions également transparentes, cet habile botaniste a trouvé que toutes les couleurs donnaient la même quantité de gaz. Selon M. Pril-

lieux, les différences observées par d'autres expérimentateurs viennent donc simplement de ce que les rayons colorés employés par eux étaient inégalement lumineux; mais M. Prillieux a fait usage du procédé de M. Sachs pour mesurer l'intensité du dégagement, et ses dissolutions bleues, très-diluées, laissaient évidemment passer de la lumière blanche. M. Dehérain s'est efforcé d'éviter ces causes d'erreur en mesurant le volume du gaz dégagé et en employant des dissolutions plus opaques : on les a étendues ou concentrées jusqu'au moment où, placées dans une chambre obscure devant une bougie, elles donnaient des ombres d'égale intensité. Dans ces conditions, M. Dehérain a trouvé que l'action des diverses couleurs, bien qu'amenées au même degré de transparence, était très-inégale; ainsi, dans une expérience, 20 grammes de feuilles de *Potamogeton crispus* ont donné les quantités de gaz qui suivent :

Lumière			
orangée.	rouge.	bleue.	verte.
67^{cc}	43^{cc}	14^{cc}	10^{cc}

M. Dehérain conclut de ses expériences que les rayons les plus efficaces sont les rayons jaunes, comme l'avait annoncé M. Draper. C'est aussi la conclusion à laquelle s'arrêtent M. Pfeffer (1871) et M. Kraus (1876). Au contraire, M. Timiriasef (1869) et M. N.-J.-C. Muller (1872) ont

trouvé que les rayons les plus actifs étaient les rayons *rouges*. Or on sait que la solution alcoolique de chlorophylle, qui est d'un vert d'émeraude, absorbe fortement les rayons rouges moyens de la zone comprise entre les raies B et C, puis les rayons orangés voisins de D, certains rayons jaunes et verts, et les rayons violets. Selon M. Muller, les rayons les plus actifs sont précisément ceux qui correspondent à la première bande d'absorption de la chlorophylle (rouge moyen), et un maximum secondaire existe dans l'orangé. D'après les expériences de M. Wiesner (1876), les mêmes rayons favorisent particulièrement la transpiration des végétaux.

M. E. Lommel (1871) avait déjà soutenu la supériorité des rayons rouges en se fondant sur la corrélation qui doit exister entre l'absorption de ces rayons par la chlorophylle et leur action chimique. Il a rappelé, à ce propos, que le vert des feuilles renferme le rouge extrême, mais non pas le rouge moyen, qui est absorbé (c'est pour cela que le feuillage paraît d'un rouge de corail lorsqu'on le regarde à travers un verre bleu qui laisse passer le rouge extrême, tandis qu'il paraît noir à travers une combinaison de verres qui ne transmet que le rouge moyen). M. Lommel a vérifié cette hypothèse en élevant des semis de fèves sous des verres colorés qui transmettaient les deux nuances de rouge : dans le rouge extrême, les plantes s'étiolaient, tandis qu'elles

poussaient vigoureusement dans le rouge moyen, bien que la lumière transmise fût très-sombre. Rappelons aussi que, d'après sir J. Herschel, la couleur verte que l'on tire des feuilles s'altère principalement sous l'influence des rayons rouges.

Ces résultats semblent prouver que certaines couleurs ont réellement une action spécifique sur les végétaux. Ajoutons que, d'après M. Baudrimont et M. Paul Bert, la lumière blanche est en somme plus efficace que les diverses lumières colorées; et c'est ce qui semble aussi résulter des observations de M. Eug. Marchand sur l'apparition de la « matière verte de Priestley » dans l'eau de source exposée à la lumière.

En résumé, le mode d'action de la lumière sur les plantes n'est que très-imparfaitement connu; la question a encore besoin d'être éclaircie par des expériences plus nombreuses et plus décisives. Il faudra non-seulement étudier en détail les effets que la lumière produit sur les différentes parties des végétaux vivants, pris à divers âges et dans des circonstances différentes, mais encore les modifications que les matières organiques en général subissent sous l'influence des rayons diversement colorés. M. Niepce de Saint-Victor, ayant exposé au soleil de l'amidon en suspension dans de l'eau chargée d'un peu d'azotate d'urane, a vu l'amidon se changer en sucre. Cette observation est peut-être propre à jeter un jour nouveau sur la formation du sucre dans les fruits, et sur les causes des

phénomènes de la maturation. Beaucoup d'autres faits, tels que l'altération des fibres végétales sur laquelle repose le blanchiment des toiles, rentrent dans la même catégorie. On trouve des observations très-curieuses sur ces actions de la lumière dans un Mémoire, trop peu connu, que sir John Herschel a publié en 1842 (1). En multipliant ce genre de recherches, on arriverait probablement à des résultats fort importants pour la théorie des affinités chimiques.

N'oublions pas enfin que l'action de la lumière sur la vie animale varie aussi avec la couleur des rayons. M. J. Béclard, ayant placé des œufs de mouche ordinaire sous des cloches diversement colorées, a constaté que les vers éclos dans le rayon violet ou le rayon bleu étaient plus développés que ceux qui étaient nés dans le rayon vert. D'après le même physiologiste, la respiration des grenouilles est plus active dans le rayon vert que dans le rayon rouge ; mais c'est l'inverse qui s'observe si les grenouilles sont dépouillées de leur peau. M. Guarinoni, professeur à Plaisance, croit avoir constaté une influence favorable de la lumière violette sur les vers à soie. On sait aussi que les diverses couleurs produisent sur l'homme et sur les animaux des impressions fort différentes ; mais c'est là un sujet encore peu étudié.

---

(1) *On the action of the rays of the solar spectrum on vegetable colors* (*Philos. Trans.*, 1842).

III. — LA RADIATION SOLAIRE ET L'ATMOSPHÈRE TERRESTRE.

Les effets que le Soleil produit à la surface de notre planète sont de trois sortes : il éclaire la Terre, il l'échauffe, et, comme nous venons de le voir, il prépare la nourriture de tous les êtres en provoquant, par l'action chimique de la lumière, la croissance des végétaux. Il importe évidemment d'étudier les rapports qui doivent exister entre l'intensité de la lumière et le développement de la vie sous les divers climats, ainsi que l'influence que les variations de l'éclairement exercent, dans une contrée donnée, sur la marche de la végétation. Pour cela, il sera nécessaire d'instituer des observations régulières sur la radiation directe du Soleil, aussi bien que sur la lumière diffuse du jour, et de comparer les résultats aux données de la statistique agricole. Mais comment mesurer l'intensité changeante de la lumière ?

Il est clair que l'on peut apprécier l'intensité d'un rayonnement, soit par l'éclat optique des rayons, soit par leur effet calorifique ou par l'action chimique qu'ils exercent sur les substances sensibles; de là trois genres différents de procédés *actinométriques* (1). Peut-on en faire usage indistinctement ?

---

(1) Des mots grecs ἀκτίν, rayon, et μετρέω, je mesure.

On admet souvent tacitement qu'il y a proportionnalité entre les trois sortes d'effets que la lumière peut produire, d'où il suit que, des variations du pouvoir éclairant d'une source lumineuse, on pourrait, par exemple, conclure celles de son pouvoir calorifique et *vice versa,* ou des variations du pouvoir calorifique celles de l'activité chimique des rayons, etc. Dès lors tous les procédés actinométriques sembleraient pouvoir nous renseigner sur les variations de la lumière qui intéressent la végétation. Mais cette proportionnalité des divers effets n'a réellement lieu que pour des rayons simples, pour des rayons d'une couleur définie ; elle n'existe plus pour des lumières complexes. Ainsi l'on peut dire que le rayon jaune est 2 fois plus chaud et 2 fois plus actif lorsqu'il est 2 fois plus brillant ; mais le pouvoir calorifique et l'activité chimique de la lumière blanche, qui est une lumière composée, ne varient pas nécessairement comme son pouvoir éclairant. Les causes qui affaiblissent l'éclat de la partie moyenne, de la partie lumineuse du spectre n'agissent pas de la même manière sur les radiations obscures, et l'absorption qui atteint la chaleur obscure ou les rayons ultraviolets n'entame pas toujours d'une manière sensible les rayons lumineux.

En thèse générale, il n'est donc pas permis d'employer indistinctement les divers procédés actinométriques pour apprécier l'intensité de l'action que la lumière peut exercer sur la végétation. Néan-

moins on peut supposer que, *dans certaines limites*, les variations de la puissance chimique des rayons solaires correspondent à des variations analogues de l'éclat et du pouvoir calorifique des mêmes rayons. Comme ce sont les rayons les plus brillants de la partie visible du spectre qui déterminent la nutrition aérienne des plantes, on pourra notamment juger de l'intensité variable de cette action chimique du Soleil par l'intensité de l'éclairement qu'il produit. Il sera moins exact de déduire l'intensité chimique de l'effet calorifique ; cependant les observations thermométriques de la radiation solaire suffiront toujours à nous donner une idée approximative de ce qu'on peut appeler « la force du Soleil, » en désignant par ce mot la totalité de ses effets.

Il ne faut pas d'ailleurs confondre l'intensité de la radiation calorifique du Soleil avec la *température*, qui est l'état d'équilibre thermique que l'air et le sol prennent à chaque instant sous l'action combinée des rayons solaires, des vents, des nuages et des pluies. Le soleil peut être très-chaud et l'air très-froid, comme cela s'observe sur les hautes montagnes. Ce que le thermomètre nous apprend d'ordinaire, c'est la température, et les lois qui régissent la distribution des températures à la surface du globe sont aujourd'hui à peu près connues, grâce à d'innombrables observateurs. On a même peut-être trop observé : les matériaux, plus importants par la quantité que par la qualité, s'accu-

mulent dans une progression effrayante. Où prendre les calculateurs qui tireront parti de ces montagnes de chiffres? On a du moins essayé d'en utiliser une partie en déterminant, pour un grand nombre de points du globe, la température moyenne de chaque mois, de chaque saison, de l'année entière, ainsi que les oscillations habituelles du thermomètre. En réunissant toutes les stations pour lesquelles un de ces éléments météorologiques se trouve avoir la même valeur, on parvient à tracer sur une mappemonde les *isothermes,* ou lignes d'égale température, soit mensuelle, soit annuelle; les *isochimènes* et les *isothères,* qui passent par les lieux pour lesquels la température moyenne de l'hiver ou celle de l'été est la même, et une foule d'autres courbes qui permettent d'embrasser d'un seul coup d'œil les lois que suivent les températures terrestres.

Les lois d'après lesquelles se distribue aux divers climats la radiation solaire sont beaucoup moins connues. Nous savons bien, d'une manière générale, que l'intensité moyenne de la radiation que reçoit un point donné du globe dépend aussi bien de sa latitude géographique et de son altitude que du degré moyen de sérénité du ciel; mais c'est à l'observation de nous renseigner sur ce dernier facteur, et nous ne possédons à cet égard que des données isolées et fort vagues.

Un moyen très-simple d'évaluer la force du Soleil, et qui a été souvent employé, c'est l'observa-

tion simultanée d'un thermomètre ordinaire, placé à l'ombre, et d'un thermomètre à boule noire ou argentée, qui est exposé au soleil, et qui s'échauffe fortement en absorbant les rayons qui le frappent. H.-B. de Saussure a fait, dès 1774, des observations analogues dans les Alpes, à l'aide de son *héliothermomètre*. C'est un thermomètre enfermé dans une boîte de liége, noircie à l'intérieur et fermée par plusieurs vitres superposées. Les rayons solaires s'y prennent comme dans une souricière : ils entrent librement par les vitres et viennent échauffer les parois intérieures de la boîte; mais les parois échauffées ne rayonnent que de la chaleur obscure, au passage de laquelle le verre fait obstacle, et il s'ensuit que la chaleur est forcée de s'accumuler dans l'espace où on l'a emprisonnée. C'est l'effet qu'on observe tous les jours dans nos serres. L'atmosphère qui nous enveloppe remplit une fonction analogue à celle des vitres : elle empêche la chaleur absorbée par le sol de se perdre pendant la nuit dans l'espace, car elle est moins transparente pour la chaleur obscure qui émane de la Terre que pour la chaleur lumineuse du Soleil.

L'*actinomètre* de sir John Herschel repose sur le même principe que l'instrument de Saussure ; c'est aussi un thermomètre enfermé dans une boîte vitrée; seulement le mercure y est remplacé par un liquide coloré en bleu, et les degrés ont une longueur considérable, ce qui facilite l'observa-

tion. Enfin le *pyrhéliomètre* de Pouillet, qui sert également à mesurer l'intensité de la radiation solaire, consiste en une boîte plate dont la surface antérieure, recouverte de noir de fumée, est exposée au soleil; on remplit cette boîte avec de l'eau distillée dans laquelle on plonge un thermomètre, et l'on observe l'élévation de la température.

Ces divers instruments ont permis d'entrevoir quelques-unes des lois suivant lesquelles varie l'intensité des rayons solaires. Sir John Herschel a fait plusieurs observations à l'aide de son actinomètre en Europe et au Cap de Bonne-Espérance (1837). Forbes et Kæmtz l'ont porté sur les sommets des Alpes; M. Quetelet l'a observé régulièrement, de 1843 à 1849, à Bruxelles. Les expériences de M. Pouillet ont été faites à Paris, en 1837. M. A. Crova poursuit à Montpellier des recherches analogues. Il faut aussi mentionner les observations que le P. Secchi, M. Soret, M. Violle ont faites à l'aide d'un thermomètre enfermé dans une enceinte maintenue à une température constante, où les rayons solaires ne pénètrent que par une petite ouverture circulaire. A Montsouris, on emploie un actinomètre composé d'un thermomètre noir et d'un thermomètre ordinaire, enfermés dans deux enveloppes de verre où l'on a fait le vide. On y fait aussi usage de la pile thermoélectrique, déjà appliquée par M. Desains à l'étude de la radiation solaire.

Je me réserve de parler ailleurs (1) plus longuement de ces méthodes d'observation, ainsi que des procédés actinométriques fondés sur les réactions qui sont du domaine de la Photochimie. Je résumerai, à cette occasion, les résultats que MM. Bunsen et Roscoe ont obtenus en évaluant l'activité chimique des rayons solaires ou celle de la lumière diffuse, soit par la quantité d'acide chlorhydrique qui se produit dans un mélange à volumes égaux de chlore et d'hydrogène, soit par la teinte que prend dans un temps donné le papier sensibilisé par le chlorure d'argent. Je discuterai également les recherches actinométriques de M. Eug. Marchand, exécutées à l'aide d'une dissolution aqueuse d'acide oxalique et de perchlorure de fer, qui sous l'influence de la lumière se décolore et dégage de l'acide carbonique. Ces divers travaux ont déjà fourni de précieuses données pour une théorie de la radiation solaire; mais nous pourrons nous borner ici à quelques notions générales sur les conditions qui peuvent modifier l'intensité de cette radiation.

Si l'atmosphère n'existait pas, les rayons solaires nous arriveraient sans diminution ; mais en réalité l'atmosphère en arrête toujours une partie plus ou moins considérable : elle agit comme un crible, elle absorbe ou renvoie vers l'espace une certaine por-

---

(1) Dans deux études, intitulées : *Actinométrie*, et *les Radiations chimiques*.

tion de la lumière et de la chaleur qui arrivent du Soleil. L'affaiblissement des rayons est d'autant plus sensible que les couches d'air traversées sont plus épaisses et plus denses ; il est plus sensible au pied qu'au sommet des montagnes, où l'air est plus rare.

Dans le même lieu, le Soleil a d'autant plus de force qu'il est plus élevé, parce qu'à mesure qu'il s'élève ses rayons ont moins de chemin à faire dans les couches basses de l'atmosphère, qui sont les plus denses et les plus humides et qui exercent l'absorption la plus forte. Pour un soleil vertical, qui darde ses rayons d'aplomb sur nos têtes, l'affaiblissement se réduit à un minimum, et il n'est pas beaucoup plus marqué à 20° ou 30° du zénith, pourvu que l'air soit pur ; mais ensuite l'absorption croît rapidement à mesure que l'astre radieux descend vers l'horizon et que les rayons se frayent leur chemin à travers un air plus épais : quand ils rasent le sol, la perte devient si grande que le soleil n'a presque plus de chaleur, comme il n'a plus qu'un faible reste de lumière, puisqu'on peut alors impunément le regarder en face (1).

On prend généralement pour mesure de la trans-

---

(1) L'atmosphère équivaut à une couche d'air d'une hauteur verticale de 8 kilomètres qui aurait une densité uniforme, égale à celle des couches basses. Près de l'horizon, les rayons solaires ont à traverser une épaisseur 35 fois plus grande (28 kilomètres). Au sommet d'une montagne élevée de 8000 mètres, l'épaisseur verticale de la couche fictive est encore de 3 kilomètres.

parence de l'atmosphère la fraction de l'unité de lumière ou de chaleur incidente qui serait transmise dans la direction verticale, en d'autres termes, la fraction qui arriverait jusqu'au niveau de la mer, le Soleil étant supposé au zénith; cette fraction, que nous désignerons par la lettre p, représente ce qu'on appelle le *coefficient de transparence*. Pour la chaleur solaire, M. Pouillet a trouvé ce coefficient égal à 0,75, ce qui veut dire que, le Soleil étant au zénith, une atmosphère très-pure arrêterait encore 25 pour 100 de la chaleur incidente. Mais cette détermination porte sur l'ensemble de la chaleur lumineuse et de la chaleur obscure. En réalité, l'absorption est moindre pour les rayons lumineux et beaucoup plus forte pour les rayons obscurs. Pour les premiers, Bouguer avait trouvé $p = 0,81$, et M. Trépied a trouvé récemment $p = 0,88$, ce qui donnerait une perte de 12 à 19 pour 100 seulement. Pour la chaleur obscure, je crois qu'on peut prendre $p = 0,40$, ce qui représente une perte de 60 pour 100. Enfin, pour les rayons chimiques de l'extrémité violette du spectre, on aurait, d'après MM. Bunsen et Roscoe, $p = 0,44$, ce qui donne une perte de 56 pour 100 dans le cas d'un soleil vertical. C'est l'absorption que produirait une couche d'air de 8^{km}, ayant la densité des couches basses, mais supposée plus pure que ne le sont d'ordinaire les couches voisines du sol.

Connaissant l'absorption que l'atmosphère exerce sur les diverses espèces de rayons, on peut calcu-

ler l'intensité de la radiation pour une hauteur donnée du Soleil; on peut aussi calculer ce que serait l'intensité d'un soleil qui n'aurait pas été amoindri par l'atmosphère. D'après sir John Herschel et M. Pouillet, l'effet calorifique des rayons solaires suffirait, si l'atmosphère n'existait pas, à faire fondre en une minute une épaisseur de glace égale à $\frac{1}{4}$ millimètre. Des recherches plus récentes ont prouvé que ce chiffre est trop faible et qu'il doit être augmenté de moitié.

Nous avons dit que le soleil devient de moins en moins chaud à mesure qu'il s'abaisse vers l'horizon, par suite de l'absorption toujours croissante qu'il subit dans l'atmosphère ; mais ce n'est pas tout : il existe encore une autre cause d'affaiblissement des rayons solaires, dont il faut tenir compte toutes les fois qu'il s'agit de l'échauffement du sol. En effet, une radiation quelconque agit d'autant moins sur une surface donnée, qu'elle la rencontre sous une inclinaison plus considérable. La raison en est facile à comprendre.

A mesure que la direction du faisceau devient plus oblique, il couvre une étendue de surface de plus en plus grande, et il s'ensuit que la quantité de rayons que reçoit chaque unité de surface diminue dans la même proportion, parce que l'effet s'atténue en s'éparpillant. On peut en faire l'expérience lorsqu'on travaille le soir à la lumière d'une bougie; on verra qu'elle éclaire à peine le papier si la flamme est placée trop bas, de sorte que les

rayons rencontrent la surface à éclairer sous une incidence très-oblique. Dans un même lieu, le soleil de midi aurait donc un pouvoir plus grand pour échauffer le sol que le soleil rapproché de l'horizon, quand même l'atmosphère n'exercerait sur les rayons aucune absorption. Or les deux effets de l'obliquité s'ajoutent : les rayons perdent en force absolue et deviennent en même temps par leur inclinaison moins aptes à échauffer une surface horizontale, quand le soleil s'abaisse ; ils gagnent en intensité et tombent plus dru quand le soleil s'élève dans sa course.

La hauteur que cet astre peut atteindre, dans un lieu donné, est par conséquent la condition la plus importante des effets divers qu'il y peut produire. Or cette hauteur dépend de la latitude géographique ; rien de plus facile que de la calculer pour tous les jours de l'année quand nous connaissons la position du lieu à la surface du globe. Ainsi, par exemple, la latitude de l'île Melville étant de 75°, nous savons que l'équateur céleste y fait un angle de 15° avec l'horizon ; c'est la hauteur à laquelle le soleil s'y élève à midi, aux époques des équinoxes. Vers le solstice d'été, la plus grande hauteur du soleil est, pour la même station, de 38°,5 : c'est celle qu'il atteint à Paris le 15 mars ou le 30 septembre ; mais à l'approche du solstice d'hiver, dans les premiers jours de novembre, le soleil disparaît entièrement sous l'horizon de l'île Melville pour ne reparaître que vers le commen-

cement du mois de février. C'est ainsi qu'on peut prévoir, pour un lieu quelconque de la Terre, la hauteur variable du Soleil et, par conséquent, la force que ses rayons y ont à chaque instant. Mais la latitude ne détermine pas seulement la puissance calorifique du Soleil, en limitant la hauteur à laquelle il s'élève : la durée du jour en dépend également. Par conséquent la latitude du lieu a une double influence sur l'efficacité de la radiation solaire : elle en définit aussi bien la durée que l'intensité.

Dès lors, on devrait s'attendre à rencontrer la même chaleur sous la même latitude ; les isothermes devraient partout suivre les parallèles terrestres (1). Il n'en est rien : on sait combien les climats thermométriques de deux stations situées sous le même degré de latitude diffèrent parfois. Ainsi la ville de Toronto, au Canada, a la même latitude que Montpellier ; la température moyenne de l'hiver est, pour Toronto, de 4° au-dessous de zéro, tandis qu'à Montpellier on a, en moyenne, de 6° à 7° de chaleur ; les températures moyennes de l'été sont : pour Toronto, 17°,7 ; pour Montpellier, 24°,4 ; celles de l'année : pour Toronto, 6°,7 ; pour Montpellier, 15°,3.

Des divergences aussi considérables s'expliquent, dans certains cas, par la différence de niveau

---

(1) Le mot grec κλίμα signifie *inclinaison du ciel, latitude*.

des deux stations. La plus élevée est aussi la plus froide; car si, à une grande hauteur au-dessus de la mer, l'air est moins dense et l'absorption des rayons solaires moins sensible, on sait, d'un autre côté, que la température de l'air décroît à mesure qu'on s'élève dans l'atmosphère, parce que la chaleur que lui communique le sol se distribue dans les couches inférieures selon leur densité, de manière qu'il s'y établit une sorte d'équilibre des températures. Les stations élevées offrent donc, en général, des températures plus basses que les stations situées à une altitude moindre, quoiqu'elles soient exposées à un rayonnement plus intense que ces dernières. Mais, dans l'exemple que nous avons cité, la différence de niveau est à peine sensible, car l'altitude de Toronto n'est que de 70^{m} supérieure à celle de Montpellier (qui ne diffère pas de celle de Paris); ce n'est donc pas la différence des altitudes qui peut rendre compte de l'inégalité frappante des deux climats.

Il y a, en effet, bien d'autres circonstances qui modifient la distribution de la chaleur à la surface du globe et dont l'influence semble souvent effacer complétement celle de la latitude, en déviant les isothermes de leur cours naturel, indiqué par les parallèles terrestres. En première ligne, il faut citer ici les vents et les courants maritimes, qui tendent à égaliser les climats en transportant loin du lieu d'origine la chaleur qui naît dans l'eau ou dans le sol sous l'influence des rayons solaires.

Le *Gulf-stream* vient baigner de ses eaux tièdes les côtes des îles septentrionales, et les vents du sud nous apportent des bouffées d'air chaud des déserts africains. Chaque courant d'air amène dans les régions qu'il visite la température de celles qu'il vient d'abandonner; il produit des effets différents suivant les circonstances. Les vents d'ouest et de sud-ouest, qui prédominent sous nos climats, sont des vents de terre pour les côtes orientales, et des vents de mer pour les côtes occidentales. En arrivant sur l'Europe, après avoir balayé l'océan Atlantique, ils tempèrent l'ardeur de nos étés et la rigueur de nos hivers ; au contraire, ils sont à peu près sans effet sur le climat de Boston, de New-York, de Québec, parce qu'en arrivant sur la côte orientale de l'Amérique du Nord ils ont déjà traversé un vaste continent dont ils ont pris la température, froide en hiver, chaude en été. C'est pour cette raison que les climats de nos côtes sont moins excessifs que ceux de la rive opposée de l'Atlantique.

Mais pourquoi la température de l'Océan varie-t-elle moins que celle des continents? Pourquoi les extrêmes y sont-ils, pour ainsi dire, émoussés? C'est que l'eau s'échauffe beaucoup moins que les terres sous l'influence du même rayonnement, la quantité de calorique nécessaire pour élever d'un degré la température d'une couche d'eau étant environ 5 fois plus grande que celle qui suffit pour élever d'autant la température d'une couche

égale de matière terreuse. En revanche, la chaleur du soleil pénètre dans l'eau à une grande profondeur, au lieu de se concentrer à la surface, comme il arrive pour les terrains solides. D'un autre côté, l'évaporation de l'eau constitue pour celle-ci une cause incessante de refroidissement. Ces diverses causes ont pour résultat de rendre pendant l'été l'eau et l'air qui la touche plus froids que le sol et l'air des continents ; en hiver, au contraire, la surface de la mer est relativement plus chaude, parce que des courants ascendants y amènent sans cesse la chaleur accumulée dans les bas-fonds. La mer ne suit donc qu'avec une lenteur excessive les variations de température de l'élément léger et mobile qui nous enveloppe ; profonde et immense, elle absorbe beaucoup, garde longtemps ce qu'elle a absorbé et ne le rend qu'avec parcimonie. C'est ainsi qu'elle devient une sorte de régulateur des températures terrestres par les courants qui distribuent les eaux plus ou moins chaudes le long des côtes, et par les vents qui viennent s'y refroidir en été et se réchauffer en hiver. C'est pour les mêmes raisons que le *climat marin*, celui des îles et des côtes, est caractérisé par l'uniformité des températures, et le *climat continental* par des variations très-sensibles : étés très-chauds et hivers très-froids. A Londres, la différence entre les mois de juillet et de janvier n'est en moyenne que de 15°, tandis qu'à Orenbourg, sous la même latitude, cet écart atteint ordinairement 38°.

On voit donc que la configuration des continents, l'inégale répartition de la terre ferme et des eaux à la surface du globe, le relief capricieux de l'écorce solide au-dessus et au-dessous des mers, doivent être pris en considération si l'on veut s'expliquer la distribution si irrégulière de la chaleur que nous fournit le Soleil. Le voisinage ou l'éloignement de la mer, l'exposition aux vents régnants, la présence de montagnes assez élevées pour servir de rempart contre ces vents, tout cela peut avoir une influence capitale sur le climat d'une station. Il ne faut pas non plus oublier la constitution géologique du terrain, qui le rend plus ou moins apte à retenir la chaleur solaire, circonstance qui devient surtout importante pour le développement des plantes (1). Enfin il faut tenir compte des lacs, des marécages et des forêts, qui agissent probablement comme réfrigérants.

Parmi les causes accidentelles qui peuvent encore modifier la température d'une contrée, il faut

---

1) Voici, d'après un travail de M. Pfaundler, les capacités calorifiques de quelques terrains : sable pur, 0,19 à 0,21 ; terre schisteuse, 0,22 ; terre jaunâtre recueillie sur une montagne de grès, 0,27 ; terres brunes de différentes montagnes calcaires, 0,30 à 0,33 ; terreau d'une prairie, 0,26 ; argile d'une lande stérile, 0,28 ; terreau d'un champ de froment, 0,30 ; terre granitique, 0,36 ; terreau très-léger, de couleur foncée, 0,44 ; tourbe légère, 0,53. Séchées à 100°, ces matières offrent des capacités un peu moindres, c'est-à-dire qu'elles s'échauffent alors plus vite. M. Ch. Martins a publié en 1863 un intéressant travail sur l'échauffement inégal des différentes espèces de terres.

compter avant tout les nuages, c'est-à-dire l'eau suspendue dans l'air à l'état liquide. Les brouillards et les nuages arrêtent la chaleur obscure rayonnée par le sol et empêchent les couches inférieures de l'atmosphère de se refroidir; on sait que les nuits sereines sont beaucoup plus froides que celles qui sont protégées par un ciel voilé. Les expériences de M. Tyndall prouvent que la vapeur sèche, c'est-à-dire l'eau à l'état de gaz invisible et transparent, exerce elle-même une très-forte absorption sur la chaleur qui émane du sol; elle contribuerait donc constamment à intercepter la chaleur que le sol abandonne pendant la nuit et qui, sans cet écran bienfaisant, irait se perdre dans les espaces célestes. Les hivers du Thibet sont presque insupportables par suite de l'absence d'humidité; dans le Sahara, où le *sol est de feu et le vent de flamme*, l'eau gèle quelquefois pendant la nuit (1). Mais un ciel pur et un air transparent sont très-compatibles avec la présence d'une grande quantité de vapeur d'eau qui protége le sol comme un manteau bien chaud; la terre peut donc se refroidir très-inégalement sous un ciel bleu en apparence toujours le même. Tous les gaz, et même les émanations odorantes des fleurs, agissent sur la chaleur obscure comme l'eau à l'état de vapeur.

En faisant abstraction de toutes ces perturba-

---

(1) La mer intérieure que M. Roudaire voudrait créer en Algérie pourrait adoucir le climat du Sahara.

tions locales, on peut déterminer, par la théorie, les quantités normales de chaleur solaire qui sont le partage des climats terrestres. C'est ainsi que Halley, Lambert, plus récemment M. Meech, ont calculé la somme de chaleur que reçoivent dans l'espace d'un jour, à différentes époques de l'année, ou dans le cours d'une année, les divers climats du globe, mais en négligeant l'absorption et tenant compte seulement de l'obliquité des rayons. On trouve ainsi, en rapportant les quantités de chaleur à celle que reçoit, en un jour d'équinoxe, un lieu situé sous l'équateur :

CHALEUR REÇUE EN UN JOUR.

	Équateur.	Latitudes 20°.	40°.	50°.	60°.	Pôle.
Solstice d'hiver ..	92	66	35	19	5	0
Équinoxes.......	100	94	77	64	50	0
Solstice d'été.....	92	109	115	115	114	125
Moy. de l'année.	96	91	76	66	55	40

On voit que, grâce à la longue durée du jour, les régions polaires sont favorisées aux environs du solstice d'été ; mais, *en moyenne*, elles reçoivent le minimum de chaleur.

Lorsqu'on tient compte de l'absorption atmosphérique, on trouve des nombres relatifs moins élevés pour les hautes latitudes. Cependant (du moins avec le coefficient de transparence $p = 0,75$), la somme de chaleur reçue, vers le solstice d'été, par la zone équatoriale reste toujours inférieure à

celle qui échoit aux autres climats. On trouve, par exemple, en conservant l'unité précédente :

	Équateur.	40°.	Pôle.
Solstice d'hiver......	78	26	0
Équinoxes..........	89	65	0
Solstice d'été........	78	102	99

et, en rapportant les nombres à la chaleur reçue dans ces nouvelles conditions par l'équateur, un jour d'équinoxe,

	Équateur.	40°.	Pôle.
Solstice d'hiver......	88	29	0
Équinoxes..........	100	73	0
Solstice d'été........	88	114	111

(J'ai tenu compte, dans ce calcul, de la lumière diffuse du jour, qui répare, dans une certaine mesure, la perte qui résulte de l'affaiblissement des rayons directs par l'absorption.)

Il n'est pas sans intérêt de rapprocher de ces déterminations théoriques le résultat des mesures que M. Crova a faites à Montpellier, le 4 janvier et le 11 juillet 1876. Voici, d'après M. Crova, les quantités de chaleur reçues : 1° normalement aux rayons solaires; 2° par une surface horizontale, sur une aire de 1^{cq}, pendant ces deux journées :

	4 janvier.	11 juillet.	Rapport.
Exposition normale.	535 calories.	876 calories.	0,61
Surface horizontale.	161 »	574 »	0,28

IV. — LES CLIMATS AU POINT DE VUE DE LA LUMIÈRE.

Après ces considérations préliminaires, il nous sera plus facile de déterminer la part de la lumière dans la définition des climats du globe.

Il est clair tout d'abord que l'intensité des effets chimiques du Soleil doit être soumise aux lois générales de le radiation solaire. En premier lieu, elle dépend, par conséquent, de la latitude géographique. Un Soleil très-bas produit moins d'effet qu'un soleil élevé, non-seulement à cause de l'obliquité des rayons, mais surtout par suite de l'absorption qu'exercent les couches inférieures de l'atmosphère. L'effet de l'obliquité et la loi de l'absorption peuvent se déterminer par la théorie et par des expériences directes; dès lors on peut dire d'avance quelle sera, par un ciel pur, l'intensité chimique d'un soleil élevé d'un nombre donné de degrés, et par suite déterminer cette activité pour un jour quelconque de l'année et pour un lieu dont on connaît la latitude. C'est ainsi qu'une série d'observations exécutées dans un lieu quelconque pourront servir à esquisser les traits généraux du climat photochimique pour toutes les latitudes du globe. Voici, par exemple, pour quelques parallèles, l'effet chimique du Soleil dans le cours d'une journée d'équinoxe, calculé d'après les données que fournissent les observations de MM. Bunsen et Roscoe.

EFFET PRODUIT SUR UNE SURFACE HORIZONTALE.

	Latitudes				
	30°.	49°.	60°.	75°.	Pôle.
Lumière diffuse........	217	192	164	106	20
Soleil..................	364	188	89	12	0
Lumière totale..........	581	380	253	118	20

Sans doute, ces résultats ne seront pas toujours conformes à la réalité, mais ils s'en éloigneront moins peut-être que la distribution théorique de la chaleur solaire à la surface du globe. Voici pourquoi. L'effet chimique des radiations lumineuses se fixe au point même qu'elles frappent ; ni le vent ni les eaux ne le transportent au loin. L'air s'échauffe par le rayonnement d'un sol exposé à l'ardeur du soleil, mais il ne paraît point devenir chimiquement actif sous l'influence des rayons de cet astre ; il n'y a donc pas de vent chimique comme il y a des vents chauds. L'effet des rayons actifs s'épuise sur place ; la distribution de la lumière à la surface du globe ne saurait donc être modifiée par les mouvements de l'atmosphère comme l'est la distribution de la chaleur ; on peut admettre qu'elle dépend essentiellement de la hauteur que le soleil atteint sous les différentes latitudes du globe. Les irrégularités qu'elle offrira auront pour cause principale l'absorption variable que l'atmosphère exerce sur les rayons lumineux. C'est donc cette absorption qu'il faudra étudier avant tout.

Dans une atmosphère pure, il serait facile de déterminer par quelques observations la loi d'après

laquelle l'absorption varie avec la hauteur du soleil; mais l'air qui nous environne est toujours chargé de vapeurs et de poussières qui en modifient l'action d'une manière capricieuse. Il résulte de là qu'il faudra dans chaque lieu recourir à des expériences directes pour déterminer les influences atmosphériques.

Une autre circonstance vient encore augmenter l'importance du rôle que l'air remplit dans les phénomènes de la radiation solaire.

Le Soleil nous éclaire de deux manières: d'abord par les rayons acérés qui pénètrent jusqu'au sol avec un éclat insupportable aux yeux, ensuite par cette lumière plus douce qui se joue dans l'atmosphère et que le fluide éthéré nous renvoie après l'avoir ballottée entre mille surfaces réfléchissantes. C'est cette *lumière diffuse* qui produit l'azur vaporeux du ciel et les teintes purpurines de l'aurore et du crépuscule. De quelle manière ont lieu ces réflexions multiples par lesquelles une partie des rayons solaires se disperse dans les couches inférieures de l'atmosphère? C'est là une question encore fort débattue et sur laquelle les physiciens sont loin d'être accord; on sait seulement que la cause principale de ces jeux de lumière doit être cherchée dans la présence de la vapeur d'eau; nous y reviendrons dans un instant. Les poussières atmosphériques, qui deviennent visibles lorsqu'un rayon de soleil perce un nuage, ne doivent pas non plus être oubliées.

Ces poussières sont soulevées par les vents qui balayent la surface terrestre. Les rivages de l'Océan fournissent les parcelles de soude que l'analyse spectrale fait toujours découvrir dans l'air. Les grands déserts chargent les vents alizés de sable et de poussières organiques ; les cendres lancées par les volcans, la fumée que produisent les bruyères que l'on brûle périodiquement dans quelques pays du nord, la poussière fécondante des végétaux, les œufs d'infusoires et les spores de mucédinées qui flottent dans l'air et auxquels on attribue les fermentations et les épidémies, tout cela contribue pour une part plus ou moins large aux impuretés accidentelles de l'atmosphère. Les brouillards secs qui obscurcissent de temps à autre le soleil, les météores que l'on appelle *gobar* en Éthiopie et *callina* en Espagne, n'ont probablement pas d'autre origine ; enfin il est possible que l'air renferme souvent des matières solides d'origine cosmique. M. de Reichenbach a émis l'opinion que les étoiles filantes entretiennent sans cesse dans l'atmosphère terrestre une petite pluie fine et impalpable de poussières dont l'accumulation graduelle à travers les siècles produit comme un engrais minéral que le sol arable reçoit des espaces célestes. C'est de là que viennent, d'après le chimiste allemand, les traces de phosphore, de magnésie, de nickel et de cobalt que l'on rencontre dans les couches superficielles de tous les terrains. D'ailleurs M. Gaston Tissandier a découvert des parti-

cules de fer météorique dans les poussières de l'air, et cette observation n'est pas restée isolée (1).

Voilà bien des sources d'impuretés qui peuvent troubler la transparence de l'air. En outre il contient toujours, dans les couches voisines du sol, une foule d'émanations gazeuses : de l'acide carbonique provenant de combustions, des traces d'oxyde de carbone, d'hydrogène carboné, d'ammoniaque, d'acide nitrique ou nitreux, et de quelques autres substances dont la présence tient à des causes locales. Les odeurs mêmes sont quelque chose de matériel : ce sont des effluves gazeuses ou des poussières impalpables dégagées par certains corps et qui affectent nos sens lorsqu'elles se dissolvent dans la membrane olfactive. On pourrait certainement peser le parfum d'une rose si l'on avait une balance suffisamment sensible, et cette balance existe. Elle est fournie par un appareil qui mesure l'absorption de la chaleur rayonnant à travers une atmosphère chargée d'émanations odorantes. M. Tyndall a fait passer des rayons de chaleur par un tube qui contenait de l'air saturé du parfum de différentes huiles aromatiques, et il a constaté que le parfum du patchouli interceptait 30 fois autant de chaleur que l'air pur, le parfum de bergamotte 40 fois, celui de l'anisette 372 fois autant.

---

(1) Voir à ce sujet l'excellent travail que M. G. Tissandier vient de publier sur les *Poussières de l'air* (Paris, Gauthier-Villars).

Ces résultats montrent la grande influence que les substances mêlées à l'air peuvent exercer sur la distribution de la chaleur; rien ne prouve qu'elles soient indifférentes pour le régime de la lumière.

Les phénomènes que présentent les solutions opalescentes sont très-propres à nous donner une idée du rôle que les poussières peuvent jouer dans l'absorption et la transmission des rayons lumineux. De l'eau rendue légèrement laiteuse par l'addition d'une petite quantité de soufre finement divisé intercepte les rayons bleus et ne laisse passer que les rouges, de sorte que la lumière électrique, regardée à travers une couche de cette eau, produit l'effet d'un soleil couchant, tandis que le liquide paraît bleu par réflexion; la même solution intercepte aussi les rayons chimiques (1). M. Brücke a obtenu un effet analogue avec de l'eau rendue très-légèrement opalescente par quelques gouttes d'une solution alcoolique d'une résine. Le verre opalin paraît de même bleuâtre par réflexion, et rouge jaune par transmission ; l'opalescence est due à de fines particules de cendres d'os calcinés qui sont disséminées dans la masse. La couleur des rayons transmis dépend d'ailleurs des dimensions des particules solides suspendues dans un liquide, car on sait que l'or en feuilles est vert par transparence, tandis que les solutions d'or, qui, d'après Faraday,

---

(1) Roscoe, *On the Opalescence of the Atmosphere;* 1866.

tiennent toujours des particules plus ou moins fines d'or métallique en suspension, paraissent bleues, pourprées ou vermeilles par transmission (1).

Il est certain que ce sont des phénomènes analogues qui produisent les couleurs du ciel. Le soleil paraît rouge à l'horizon parce que les couches basses de l'atmosphère ne sont traversées que par les rayons rouges : les rayons qui appartiennent à la région bleue du spectre sont arrêtés au passage et renvoyés aux couches supérieures. La lumière diffuse qui résulte de ces réflexions est donc bleuâtre. M. Tyndall l'a constaté par une observation frappante : un jour, regardant le lever du soleil du haut du mont Blanc, il vit que le flanc oriental de la montagne était d'un rouge vif, et le flanc opposé d'un bleu pur. La lumière transmise est jaune, orangée, rouge, selon l'épaisseur des couches traversées, et la réflexion de ces couleurs par les nuages produit les belles teintes de l'aurore. La lumière renvoyée, non par les nuages, mais par les couches élevées de l'atmosphère, est bleue. Ajoutons que, d'après l'expérience de quelques

(1) M. Wild a mesuré la proportion de lumière que laisse passer l'eau légèrement trouble. Un tube de 1^m ayant été rempli avec de l'eau passée successivement par un filtre de gros papier et par un filtre de papier fin, on constatait que dans le premier cas la colonne liquide interceptait la moitié de la lumière qui la traversait, et dans le second encore un cinquième.

photographes, la lumière qui vient du nord est plus active, c'est-à-dire plus bleue, que celle du midi.

Mais comment s'opèrent ces réflexions qui produisent l'azur du firmament? On a dit que *l'air est bleu:* ce n'est pas une explication. Newton admettait que l'air tient en suspension des vésicules d'eau qui réfléchissent la lumière comme les bulles de savon et montrent les couleurs des lames minces, qui varient avec l'épaisseur des lames. C'est en partant de ces vues que M. Clausius a donné une théorie de la lumière diffuse. D'après M. Forbes, ce serait l'eau à l'état de brouillard très-fin, d'après M. Janssen ce serait la vapeur d'eau à l'état de gaz transparent qui produirait l'azur céleste et le voile bleu qui enveloppe tous les objets lointains. Des expériences directes ont prouvé, en effet, que la vapeur proprement dite, aussi bien qu'un brouillard artificiel, transmet surtout les rayons rouges et renvoie les rayons bleus. En tout cas, il paraît bien que c'est l'eau contenue dans l'atmosphère qui est la cause des couleurs du ciel. Cela explique aussi pourquoi le soleil est d'ordinaire jaune d'or au moment de son lever, et rouge au moment du coucher; en effet, l'air est plus pur le matin que le soir, parce que les vapeurs sont en partie précipitées pendant la nuit. Citons encore à ce sujet les belles expériences de M. Tyndall sur les « nuages naissants », qui prouvent que les particules excessivement ténues d'une vapeur quel-

conque qui commence à se condenser réfléchissent toujours les rayons bleus et imitent ainsi la couleur du firmament. Le bleu devient blanchâtre quand les molécules réfléchissantes deviennent plus grosses.

Saussure et d'autres physiciens après lui ont étudié les variations de la couleur bleue du ciel au moyen d'un instrument appelé *cyanomètre*. Sous sa forme la plus simple, c'est une échelle de 53 nuances de bleu par lesquelles on passe du blanc au noir; on les compare à vue d'œil avec le ciel. Le cyanomètre d'Arago, qui est fondé sur la théorie de la polarisation, donne des résultats plus précis. Ces expériences ont montré que l'azur céleste éprouve de grandes variations, même par un temps parfaitement serein. Le bleu est d'autant plus prononcé que l'air est plus pur; un ciel pâle est signe de pluie. Au zénith, la teinte bleue est plus foncée qu'à l'horizon.

Les recherches de MM. Bunsen et Roscoe nous ont appris que la composition des rayons chimiques obscurs varie de même avec l'heure de la journée. Si ces rayons affectaient la rétine de l'œil, nous les verrions passer par une foule de nuances comme les rayons visibles: il y aurait une aurore chimique, un crépuscule chimique, etc. Au reste ces changements sont indépendants de ceux que nous offre la lumière visible. Les photographes savent que le temps de pose qui donnera une belle épreuve ne peut pas toujours être prévu d'après l'éclat optique de la lumière du

soleil, et que la lumière du matin vaut mieux que celle du soir, quand même elle semblerait moins intense. Cette différence doit tenir aux variations de l'humidité atmosphérique ; peut-être aussi est-elle due en partie aux poussières soulevées pendant le jour.

Les nombreuses observations qui ont été faites pendant quelques années par M. Roscoe à Heidelberg, à Manchester et à Lisbonne, par M. Baker à Kew, par M. Thorpe au Brésil, à l'aide d'un actinomètre fondé sur l'emploi du papier chloruré, prouvent aussi que l'activité de la lumière diminue parfois brusquement sans qu'il y ait un changement corrélatif dans la clarté du jour. Ces variations tiennent sans doute à l'interposition de vapeurs imperceptibles à l'œil. Les observations en question portent en effet sur les rayons très-réfrangibles (rayons violets et ultra-violets), et d'après M. Janssen, la vapeur d'eau est peu transparente pour ces rayons.

M. Roscoe a encore remarqué que l'activité chimique de la lumière du jour est généralement en rapport avec l'état du ciel : si le soleil est voilé, sa force baisse. Mais la présence de petits nuages blancs au zénith produit l'effet contraire : ils agissent comme des réflecteurs et augmentent l'intensité chimique de la lumière. Cet effet favorable des cumulus a été également constaté à Montsouris avec l'actinomètre à thermomètres conjugués. Ainsi les nuages ne sont pas seulement des réservoirs d'hu-

midité : ils règlent encore, en réfléchissant ou en absorbant la lumière, la provision d'énergie chimique que le Soleil dispense à la végétation.

Dans les contrées tropicales, l'intensité des rayons chimiques obscurs éprouve des variations très-grandes et très-irrégulières, par suite des pluies qui inondent ces pays une partie de l'année ; pendant les averses, l'activité chimique du ciel tombe à zéro : elle se relève brusquement quand l'orage s'est dissipé. C'est pour cette raison qu'à Mexico les photographes sont quelquefois obligés de prolonger très-longtemps la pose à une heure de la journée où le temps de pose serait très-court en Europe. Cependant la force chimique normale du soleil des tropiques est très-considérable. M. Thorpe l'a démontré par les observations qu'il a effectuées à Para, sur l'Amazone, au mois d'avril 1866, par le procédé photographique de M. Roscoe. La comparaison des résultats qu'il a obtenus à Para avec ceux que M. T.-W. Baker obtenait au même moment à Kew, près de Londres, a montré que le soleil du Brésil avait, à cette époque, de 10 à 30 fois plus de force que le soleil d'Angleterre.

Les déterminations de M. Baker embrassent une année (1865-1866) ; elles prouvent que, sous nos climats, la force chimique de la lumière du jour (du moins celle des rayons très-réfrangibles) varie beaucoup d'une saison à l'autre ; on a, pour la station de Kew, les moyennes intensités diurnes suivantes.

Printemps...........	46
Été................	92
Automne.	74
Hiver...............	11

A Manchester, l'intensité moyenne du 21 décembre 1863 dépassa à peine 3. La moyenne pour la seconde quinzaine de juin fut 75 ; elle correspond au solstice d'été. Pour les équinoxes, quelques déterminations isolées ont donné en moyenne 28.

Une série d'observations simultanées exécutées le 4 juillet 1864, à Heidelberg et à Manchester, donnèrent pour ces deux stations les intensités moyennes 160 et 51. Ces exemples montrent qu'à Manchester l'intensité chimique de la lumière est toujours relativement faible, ce qui doit tenir à l'atmosphère brumeuse du Lancashire, que d'innombrables fabriques chargent en outre de leur fumée.

Toutes ces observations confirment d'ailleurs l'indépendance réciproque des intensités optique et chimique de la lumière solaire. Souvent, quand le soleil est bas, l'action photographique de ses rayons directs est nulle : on peut le cacher par un écran sans produire aucune diminution appréciable de l'effet de la lumière totale du jour; néanmoins tous les objets projettent une ombre très-noire qui témoigne de l'éclat optique des rayons directs. Il y a donc alors une ombre visible, mais pas d'ombre chimique. C'est qu'en effet, comme nous l'avons vu, l'absorption atmosphé-

rique est beaucoup plus sensible pour les rayons chimiques appartenant à l'extrémité violette du spectre que pour les rayons lumineux proprement dits.

Les observations que M. E. Marchand a instituées à Fécamp, de 1869 à 1872, ont été également faites à l'aide d'un réactif sensible surtout à l'action des rayons violets. Au contraire, les thermomètres conjugués de Montsouris mesurent l'intensité changeante de la chaleur lumineuse et de la chaleur obscure. Depuis quelques années, un certain nombre de météorologistes ont adopté la même méthode d'observation. Voici quelques chiffres qui donneront une idée des variations de la force du Soleil, constatées par ces divers procédés.

	Fécamp (1869-72). Action chimique diurne.	Montsouris (1872-76). Moyennes diurnes.
Janvier	1,84	13,0
Février.	3,93	15,6
Mars.	6,44	26,0
Avril	14,10	37,5
Mai	19,46	46,2
Juin	21,04	48,2
Juillet.	21,41	50,6
Août.	18,92	41,2
Septembre . .	13,65	31,8
Octobre	6,86	20,1
Novembre . .	2,89	12,5
Décembre . .	1,80	9,4
Année . . .	11,03	29,3

On voit, par ces exemples, combien est grande, sous le rapport de la lumière, la supériorité des mois d'été. Mais la quantité de lumière varie beaucoup, d'une année à l'autre, avec la sérénité du ciel. Le degré de nébulosité, d'où se déduit la sérénité relative, et qu'on peut apprécier directement avec un peu d'habitude, est donc un élément météorologique des plus importants. Toutefois la sérénité apparente est loin de fournir une mesure exacte de la transparence de l'atmosphère pour les diverses espèces de rayons; les conditions d'où dépend cette transparence ont encore été peu étudiées. Les expériences que Saussure et plus récemment H. Schlagintweit ont faites à l'aide du *diaphanomètre* n'ont pas fourni de résultats bien précis. M. Wild et M. de la Rive ont imaginé deux instruments qui permettent de déterminer le degré de transparence de l'atmosphère en comparant les images optiques de deux mires placées à des distances différentes. Il serait bon aussi de faire des observations suivies sur la lumière de l'héliotrope de Gauss (1), qui, dans des conditions favorables, s'aperçoit encore, avec une bonne lunette, à des distances de 100^{km}. On pourra ainsi apprécier d'une manière plus précise l'influence que les poussières, les brouillards et les vapeurs exercent sur la transparence de l'air. C'est au Pic du

---

(1) Miroir attaché à une lunette et réfléchissant les rayons solaires dans une direction voulue.

Midi qu'il faudrait faire des expériences de ce genre.

A défaut de chiffres qui constatent ces influences, nous avons quelques faits d'expérience assez connus. On sait depuis longtemps que l'air humide est *plus translucide* que l'air sec. Les montagnards regardent la netteté des contours des cimes éloignées comme un pronostic de pluie. A travers l'air humide de la Manche, les falaises de Douvres sont quelquefois visibles des côtes de France, éloignées de 7 lieues. Humboldt mentionne que le pic de Ténériffe s'aperçoit à des distances extraordinaires, immédiatement après une pluie abondante. D'après la longue expérience d'Herschel, une atmosphère humide est bien plus favorable aux observations délicates qu'une atmosphère très-sèche. Il semble que l'humidité neutralise l'influence nuisible de la poussière, sur laquelle elle se condense peut-être : c'est ainsi qu'une feuille de papier devient plus translucide lorsqu'elle est mouillée. Par un temps sec, les objets lointains se montrent comme voilés, ils semblent nager dans un brouillard bleuâtre. Ces phénomènes, dont l'étude approfondie serait intéressante, jouent certainement un rôle dans l'économie de la vie végétative.

En somme, on voit que la radiation solaire offre encore aux physiciens un vaste champ à explorer. Dans ces recherches, il faudra s'occuper au moins autant des rayons lumineux proprement dits que des rayons chimiques de l'extrémité violette du

spectre, puisque ce sont les premiers qui déterminent les évolutions vitales des plantes. Il sera donc nécessaire de mesurer l'effet chimique des rayons rouges, jaunes et verts aussi bien que celui des rayons bleus, violets et gris-lavande. Le procédé au chlorure d'argent ne donne que l'action complexe de toutes ces radiations ; peut-être que l'emploi du gaïac bleu ou d'un des réactifs nouvellement découverts permettrait d'isoler l'effet des rayons lumineux les moins réfrangibles. L'actinomètre à thermomètres conjugués mesure avant tout la radiation calorifique. La photométrie ordinaire, qui ne s'occupe que de l'intensité optique de la lumière, pourrait certainement fournir des données climatologiques importantes en observant les variations d'éclat du soleil et de la lumière diffuse sur différents points du globe.

Il faudra encore bien des recherches avant que nous puissions tracer sur une mappemonde les *isactines* ou lignes d'égale force de la lumière, et poser les bases d'une climatologie chimique. En attendant, voici, pour terminer, quelques faits généraux qui se rapportent au même sujet.

Il est certain que sur les montagnes, où l'air est plus rare et l'absorption moins sensible, la force du Soleil augmente notablement. Les voyageurs savent combien l'air est plus transparent et le soleil plus brillant sur les hauteurs. Alexandre de Humboldt raconte qu'un jour, sur le plateau de Quito (à 3000^{m} au-dessus de la mer), il vit à l'œil nu un point

blanc cheminer le long d'un mur de basalte noir; une lunette d'approche lui fit reconnaître que c'était son ami Bonpland, enveloppé dans un manteau de voyage; la distance était de 30^{km}. Gérard vante l'admirable transparence que l'air possède sur les hauteurs de l'Himalaya. L'expédition des astronomes anglais au pic de Ténériffe a montré que les télescopes donnent des images bien plus nettes lorsque la station d'observation est très-élevée, et les épreuves photographiques que l'on prit des cimes voisines furent d'une clarté admirable toutes les fois qu'elles avaient été obtenues au sommet du pic. L'une de ces épreuves laisse reconnaître à la loupe les pierres et les broussailles qui couvrent le flanc d'une colline éloignée de 7^{km}. L'intensité que le rayonnement solaire acquiert sur les hautes montagnes est encore attestée par les souffrances que le soleil y fait éprouver aux touristes. Ceux qui ont visité la cime du Mont-Blanc ont souvent payé leur témérité par un renouvellement complet de la peau du visage et par un aveuglement prolongé.

M. Charles Martins a mesuré l'échauffement relatif d'une même espèce de sol à Bagnères-de-Bigorre et sur le Pic du Midi, en deux stations dont la différence de niveau était de 2326^{m}. Le sol fut trouvé plus chaud sur la montagne que dans la vallée, quoique l'air y fût plus froid. Les mesures actinométriques que Forbes et Kæmtz, en 1832, ont exécutées au sommet du Faulhorn et au pied

de la montagne, celles que M. Soret a faites de 1867 à 1869 sur divers points des Alpes, celles de MM. Desains et Branly, de M. Violle, ont également démontré l'intensité considérable de la radiation solaire sur les hautes cimes.

Le sol des montagnes est donc chauffé par des rayons plus ardents, et la lumière qui le frappe est plus vive; ces deux causes réunies doivent exercer une grande influence sur la végétation. En effet, dans 35 ascensions au pic du Midi, faites pendant quinze années, au printemps, en été et en automne, Ramond a recueilli 71 plantes phanérogames sur le cône terminal, dont la hauteur est de 16^{m} et la surface de quelques ares seulement. Sur le cône terminal du Faulhorn, haut de 80^{m}, avec une superficie de $4^{hect},5$, M. Charles Martins a noté 131 espèces de phanérogames. Or, d'après les récentes explorations suédoises, l'archipel tout entier du Spitzberg n'en présente que 93. Cette inégalité si frappante de la distribution des plantes ne peut s'expliquer que par la différence de la radiation solaire qui, sur les montagnes, active le travail d'assimilation des végétaux en même temps qu'elle en chauffe les racines.

Frédéric de Tschudi, dans son livre sur le *Monde des Alpes,* parle avec enthousiasme de la flore qui caractérise la région alpine (la zone comprise entre 1300 et 2200^{m} d'altitude). « Le coloris des plantes alpines, dit-il, est d'une fraîcheur et d'une vigueur admirables. A côté du jaune et du

blanc des fleurs de la plaine, nous trouvons ici l'indigo le plus brillant, le rouge le plus éclatant et le plus velouté, et un brun orangé foncé qui passe jusqu'au noir; le jaune et le blanc prennent les tons les plus purs et les plus éblouissants. Cette puissance de coloration, qui, dans la montagne, donne souvent aux fleurs incolores de la plaine des teintes incomparablement plus nettes et plus pures, nous la retrouvons dans la végétation polaire, où, sous l'influence d'une lumière d'été prolongée et d'un soleil de minuit, les couleurs non-seulement deviennent plus chaudes, mais se transforment quelquefois complétement, au point que le blanc et le violet se changent en un pourpre ardent. Et comme les plantes alpines sont souvent réunies en groupes serrés, ce luxe extraordinaire de couleurs massées prête aux tapis de gazon d'un vert foncé sur lesquels elles se détachent ce charme qui a rendu célèbres les hauts pâturages... La réputation de la flore alpine n'est pas moindre sous le rapport de l'odeur balsamique d'un grand nombre de fleurs et de plantes, car elle possède, comparée à celle de la plaine, une proportion plus forte de plantes aromatiques, depuis l'auricule jusqu'à la mousse des rochers, à odeur de violette. » Dans la région des neiges (au-dessus de 2200^{m}), l'éclat et le nombre des plantes phanérogames sont également surprenants.

« Une organisation singulièrement robuste, dit encore Tschudi, rend les végétaux des Alpes, même

en boutons ou en fleurs, insensibles à des changements de température que ne pourraient supporter les plantes de la plaine. » A. de Candolle, dans sa *Géographie botanique raisonnée,* fait de même remarquer que, sur tous les sommets du midi de l'Europe, les plantes alpines demandent, pour se développer et mûrir, beaucoup moins de chaleur que les espèces congénères des plaines situées à une grande distance au nord.

L'abondance de la lumière dans les hautes régions compense, jusqu'à un certain point, les désavantages des conditions biologiques du climat des montagnes, parmi lesquels les principaux sont le froid et la raréfaction de l'air. La rareté de l'air a pour conséquence la rareté de l'oxygène ; or l'oxygène n'est pas seulement indispensable aux animaux, les plantes en ont besoin aussi pendant la germination, puis pour la maturation des fruits, où le phénomène de la respiration joue un rôle prépondérant, tandis que le développement des feuilles dépend de la nutrition aérienne qui repose sur la réduction de l'acide carbonique. On pourrait croire que l'acide carbonique est également rare sur les sommets des montagnes : M. Truchot a effectivement trouvé $0^{cc},17$ d'acide carbonique par litre d'air au sommet du Sancy, tandis qu'il trouvait $0^{cc},31$ à Clermont-Ferrand. Mais MM. Schlagintweit ont au contraire constaté un accroissement de la proportion d'acide carbonique sur les sommets des Alpes : ils y trouvaient de $0^{cc},6$ à

$0^{cc},9$, tandis que dans la plaine la moyenne est $0^{cc},4$.

Sous les latitudes boréales, ce n'est pas tant l'intensité que la *durée* de la radiation solaire qui vient en aide aux plantes. La longueur du jour y compense la réduction de la période de végétation (à Tornéa, le jour le plus long dure vingt-deux heures ; à Alten, le soleil ne se couche pas pendant la phase active de la végétation). Comme pour absorber plus de lumière, la plupart des plantes ont, en Norvége et en Laponie, des feuilles beaucoup plus grandes que sous nos latitudes tempérées, ainsi que l'ont remarqué M. Martins, M. Grisebach et d'autres naturalistes.

Les caractères particuliers de la végétation dans les hautes latitudes ont été récemment étudiés par M. Schübeler, professeur à l'Université de Christiania ; M. Eug. Tisserand les a constatés à son tour, dans un voyage en Norvége, et en a fait l'objet d'un Mémoire important. Plus on avance vers le nord, plus les feuilles des végétaux grandissent en même temps que la coloration verte du tissu devient plus intense. Arbres, arbrisseaux, légumes, tout est plus foncé. Les blés blancs à teint clair brunissent sous le ciel scandinave : après quatre ans, ils ne diffèrent plus des grains du pays. Même changement pour les haricots : les variétés blanches deviennent jaunes, brunes ou vertes ; dans les espèces tachetées, les taches s'étendent et envahissent toute la graine. La couleur des fleurs se fonce également ; l'*Achil-*

lea millefolium, le *Lychnis serpentina* ont, dans le nord, des fleurs rouges. Enfin les principes aromatiques des plantes se développent davantage : les légumes, le céleri, le raifort, l'ail, le persil, le cerfeuil, l'oignon ont une saveur d'autant plus forte qu'on remonte davantage vers le nord. C'est dans le district d'Alten que se récoltent les graines de cumin les plus odorantes. La menthe poivrée, la lavande de Throndjem sont plus riches en essence que la menthe ou la lavande anglaise. Le tabac de Norvége est aussi particulièrement fort.

Mais ce qui frappe surtout, c'est la *précocité* des blés indigènes et la courte durée de leur période de végétation. A Christiania, la durée moyenne de la végétation est de 90 jours pour le blé indigène; parfois on moissonne 74 jours après les semailles (qui ont lieu vers la fin de mai) tandis qu'en Alsace le blé d'été demande 131 jours pour mûrir, 139 jours à la ferme de Fouilleuse, près de Paris, et 142 jours à Alger. Pour l'orge, on compte, à Christiania, en moyenne 90 jours; mais des semences importées d'Alten (70° lat. N.) ont donné des épis mûrs après 55 jours; à Fouilleuse la moyenne est de 120 jours, à Alger de 135 jours. Des rapports analogues ont été constatés pour l'avoine, le maïs, les fèves, les féverolles, les pois, etc. Cette précocité se conserve pendant plusieurs générations; aussi les provinces méridionales de la Norvége tirent-elles leurs semences d'orge du district d'Alten, en les renouvelant tous les trois ans.

Ainsi les graines venues du nord donnent du blé plus hâtif, mais l'avance se perd après trois ou quatre générations ; au contraire, les semences importées du midi donnent des plantes tardives, qui ne sont *entraînées* qu'au bout de plusieurs années. En même temps que la végétation s'accélère, les graines venues du midi augmentent de volume et de poids, tandis que les graines importées du nord diminuent peu à peu. Comme, d'après les analyses, ce ne sont pas les matières azotées, mais les principes hydrocarbonés (à l'exception du sucre) qui se développent avec le plus d'abondance dans les tissus des végétaux sous les hautes latitudes, ces phénomènes semblent tenir à une réduction plus énergique de l'acide carbonique par les feuilles. Ajoutons que, d'après M. Grisebach, l'accélération ne porte que sur la période comprise entre la germination et la floraison ; elle s'applique donc aux organes verts. Tout cela prouve que la lumière joue ici le rôle principal. Toutefois la chaleur intervient aussi en favorisant l'accomplissement des actes qui déterminent la croissance de la plante, car, lorsqu'on s'éloigne des côtes, la végétation se ralentit en même temps que la température s'abaisse

Quelques chiffres feront mieux ressortir ces influences. M. Tisserand a comparé la durée moyenne de la végétation du blé en Algérie, en France et en Norvége, en tenant compte à la fois des nombres de jours qui s'écoulent entre les semailles et la ré-

colte, et de la longueur variable des jours. On rencontre en Norvége, dans plus d'une ferme, des livres tenus avec soin : il y a des domaines qui possèdent ainsi trente et quarante années d'observations régulières. Parmi les fermes qui ont fourni les meilleures séries, il en est quatre qui se trouvent dans des conditions parfaitement comparables : ce sont les fermes de Halsnö, de Bodö, de Strand et de Skibotten. Voici la durée moyenne de la végétation pour ces quatre exploitations :

	Halsnö.	Bodö.	Strand.	Skibotten.
Latitude..................	59°,5	67°	69°	69°,5
Tempér. moy. de l'année.	6,3	3,6	2,9	2,3
Froment d'été...........	133j	121j	115j	114j
Seigle d'été.............	139	118	116	113
Orge à quatre rangs......	117	102	98	93

On voit que la végétation s'accélère à mesure qu'on s'avance de l'équateur vers les pôles ; elle s'accélère également lorsqu'on s'élève en altitude, et pourtant dans les deux cas la température s'abaisse. Ce n'est donc pas la température qui hâte la maturité : c'est très-probablement la lumière. En effet, la lumière est plus vive sur les hauteurs ; la plante peut donc s'y développer plus vite. De même avec la latitude s'accroît la durée des jours en été ; les plantes sont plus longtemps exposées à la lumière depuis le lever du soleil jusqu'à son coucher, et le blé mûrit en moins de temps. Voici les résultats que M. Tisserand a obte-

nus en remplaçant les nombres de jours par le nombre total des heures pendant lesquelles les blés du printemps ont reçu la lumière du jour, puis en multipliant les nombres d'heures par la température moyenne correspondante :

	Latitude.	Heures.	Heures × tempér.
	o		
Alsace...........	48,5	1996	29900
Christiania.......	60	1795	27643
Halsnö...........	59,5	2187	28430
Bodö.......... ...	67	2376	26848
Strand...........	69	2472	26944
Skibotten........	69,5	2486	26600

En réalité, on le voit, il faut plus d'heures de jour dans le nord que dans le midi pour conduire le blé à sa maturité, bien que le nombre de jours soit moindre dans le nord. Le produit de la température moyenne par le nombre d'heures de jour décroît aussi à mesure qu'on s'élève en latitude : ce n'est donc pas la température seule qui règle la végétation. L'égalité apparaîtrait sans doute si l'on cherchait la somme de lumière que reçoit le blé pendant la phase qui précède la floraison, c'est-à-dire en juin et en juillet. Dans ce calcul, je crois qu'il ne faudrait pas tenir compte de l'inclinaison des rayons, car les feuilles ne sont point horizontales, elles sont librement suspendues et baignent dans les rayons du soleil. La lumière diffuse fournit aussi un appoint considérable ; l'expérience le prouve, et ne voit-on pas la végétation pousser vigoureusement dans les sombres forêts

tropicales ? Cependant la lumière diffuse seule ne suffirait pas. M. de Gasparin a comparé les feuilles de trois mûriers, dont le premier était exposé au soleil toute la journée, le second une partie de la journée, tandis que le troisième était à l'ombre : les feuilles contenaient respectivement 45, 36 et 27 pour 100 de matières solides. M. Hellriegel a fait des essais de culture comparative avec des semis d'orge et il a obtenu les résultats suivants :

	Paille et balles.	Grain.	Récolte entière.
En plein air	11,44	10,10	21,54
	10,99	11,19	22,18
Dans une serre, au soleil	6,72	2,86	9,58
	6,32	3,26	9,58
Id. à la lumière diffuse.	3,40	»	3,40
	2,59	»	2,59

On voit qu'à la lumière diffuse, encore affaiblie par le châssis, on n'a obtenu qu'une chétive récolte herbacée. Néanmoins la lumière diffuse et les longs crépuscules ont beaucoup d'importance sous les climats brumeux du nord.

Ce qui est certain, c'est que le climat chimique est régi par d'autres lois que celles qui président à la distribution des températures. Quelques exemples suffiront pour faire apprécier cette différence.

La température annuelle de Thorshavn, dans les îles Feroë, est de 7°,6, elle est à peine inférieure à celle de Carlisle en Écosse, laquelle est de 8°, 3, quoique les latitudes de ces deux stations soient respectivement de 62° et de 55° ; mais la quantité

de lumière que Thorshavn et Carlisle reçoivent annuellement est très-différente, et il en résulte une grande dissemblance entre les climats de ces deux points. Aux Feroë et aux Shetland, la flore est peu développée, parce que l'atmosphère brumeuse de ces îles arrête une grande partie de la lumière qui vient du soleil; on n'y rencontre que des buissons rabougris, les arbres à fleurs y font défaut. A Carlisle, où le ciel est plus pur, la végétation est splendide.

Voici un autre exemple, que nous empruntons à M. Boussingault. Dans la Nouvelle-Grenade, on trouve à côté de la pomme de terre, par conséquent sous le même climat, dans le même terrain, une plante des plus robustes, l'arracacha (de la famille des ombellifères), dont la racine entre pour une forte proportion dans l'alimentation indienne. On en voit de belles plantations dans les localités dont la température moyenne est constante et comprise entre 14 et 22°. A Bogota (lat. 4° 37′, alt. 2660^{m}, temp. annuelle 14°,6), l'arracacha donne des graines au bout de huit à neuf mois. A Ibagué (lat 4° 28′, alt. 1320^{m}, temp. 21°,8), la même plante arrive à la maturité en six mois, mais on en recueille assez rarement la graine, parce qu'on la reproduit par *bouture en talon*. La récolte a lieu avant la floraison, et la racine est d'autant plus savoureuse qu'elle est plus jeune. A Caracas (lat. 10° 31′, alt. 916^{m}, temp. 22°,0), on arrache la plante au bout de trois mois, lorsqu'elle tend à monter en graine;

les racines pivotantes pèsent de 2 à 3^{kg}. Un végétal que l'on cultive sous l'influence d'une température de 14 à 22°, sans avoir besoin d'en attendre la maturité, paraissait offrir toutes les chances possibles d'une facile acclimatation en Europe. Il n'en a rien été cependant : toutes les tentatives ont échoué. En France, en Angleterre, en Suisse, l'arracacha de la Nouvelle-Grenade est toujours restée une plante rare. Elle n'a donc pas rencontré dans l'ancien continent toutes les conditions climatologiques indispensables à sa croissance, quoique celles qui dépendent de la température du sol semblent tout à fait suffisantes. En effet, sous les latitudes de la Nouvelle-Grenade, la radiation solaire est encore, à l'époque des équinoxes, deux fois plus forte que sous nos climats ; de plus elle augmente avec l'altitude, et doit être par conséquent très-intense à Bogota et à Ibagué : de là peut-être cette supériorité du climat néo-grenadin.

Sous l'équateur, la métairie d'Antisana, près de Quito, à une hauteur de 4100^{m}, qui est presque égale à celle du mont Blanc, possède une température moyenne peu différente de celle de Saint-Pétersbourg ; néanmoins on y trouve d'abondants pâturages. « Nulle part, dit M. Boussingault, je n'ai vu des taureaux plus vigoureux, des bœufs mieux en chair et en graisse, que dans les herbages toujours verts d'Antisana. » Cette remarque est d'autant plus importante à noter qu'elle semble en contradiction avec les observations de M. le

D[r] Jourdanet sur les mauvais effets de la raréfaction de l'air dans les hautes régions.

Une étude approfondie de cet ordre de phénomènes pourrait conduire à l'explication de beaucoup d'anomalies apparentes dans la distribution des plantes à la surface du globe; la Chimie agricole elle-même en tirerait son profit. La quantité de lumière que le ciel dispense aux plantes sous un climat donné devra désormais être comptée parmi les éléments de fécondité du sol, tout comme les matières minérales ou les engrais naturels que renferme le terroir. Tout porte à croire que c'est dans cette voie qu'il faudra chercher la solution d'une foule de problèmes jusqu'ici énigmatiques.

Le programme de l'Observatoire de Montsouris comprend, parmi les travaux réguliers de l'établissement, les recherches de « Météorologie agricole », c'est-à-dire l'observation des phases de la végétation, l'analyse périodique de quelques plantes agricoles, cultivées dans des conditions exactement déterminées, l'analyse de l'air et des eaux météoriques, au point de vue des produits utiles à la végétation, etc. Les résultats obtenus sont ensuite comparés avec les données climatologiques de l'année. Il est également intéressant de comparer, comme l'a fait M. Marié-Davy, ces mêmes données avec la marche des récoltes.

« Au point de vue météorologique, dit M. Marié-Davy, il y a dans la végétation du blé deux phases bien distinctes : l'une qui s'étend depuis les semis

jusqu'à la formation du grain; l'autre qui succède à la première et finit à la maturité. La première est surtout consacrée au développement de la plante, à la production de ses principes organiques, à la formation de ses réserves; dans la seconde, la plante est surtout occupée à employer ses réserves à la formation du grain. La lumière est indispensable dans la première; elle est beaucoup moins nécessaire dans la seconde. » Les intempéries peuvent gêner cette seconde phase et nuire à la qualité du grain; dans les pays septentrionaux, les froids précoces peuvent même l'arrêter; mais la lumière a fait toute son œuvre dans la phase précédente, surtout aux environs de la floraison, et elle n'a plus ensuite la même influence. C'est donc principalement la valeur actinométrique de la première phase qui importe à l'agriculture. »

Voici quels ont été, en France, les résultats des quatre dernières années, pour la récolte en blé : la récolte de 1873 a été mauvaise; celle de 1874 très-bonne comme quantité et comme qualité ; celle de 1875 a atteint la moyenne, mais la qualité du grain a été médiocre; 1876 a donné une bonne moyenne comme quantité, et d'excellent grain. Si nous mettons ces résultats en regard des données climatologiques, nous trouvons ce qui suit :

Somme des températures moyennes.

	1872-73.	1873-74.	1874-75.	1875-76.
Mars à juin.....	1406°	1429°	1501°	1361°
Juin à septembre	2169	2263	2222	2193

Somme des températures maxima.

	1872-73.	1873-74.	1874-75.	1875-76.
Mars à juin.....	....	3457	3460	3214
Juin à septembre	....	4138	4280	4360

Somme des radiations.

Mars à juin.. ..	4499	5031	4824	4880
Juin à septembre	5406	5412	4995	5177

Pluie.

	mm	mm	mm	mm
Mars à juin.....	268	111	125	172
Juin à septembre	273	190	271	233

Évaporation.

Mars à juin.....	415	432	427	435
Juin à septembre	421	501	324	429

Récolte.

Mauvaise.	Très-bonne.	Moyenne.	Bonne moyenne.

Évidemment il n'y a aucun rapport entre les températures et la marche des récoltes, dans ces quatre années : au contraire, les radiations (degrés actinométriques) constatées de mars à juin se classent de la même manière que les récoltes. En 1873, le mois de juillet a été très-lumineux, mais il était déjà trop tard pour réparer le temps perdu.

Les semailles ayant lieu à l'automne, les pluies qui les retardent exercent également leur influence sur la récolte des céréales ; mais nous n'entrerons pas ici dans plus de détails sur ce sujet. Ajoutons seulement que, pour la vigne, la *qualité* du pro-

duit paraît dépendre de la somme de lumière fournie à l'arbuste pendant sa végétation et du degré de chaleur des derniers mois. Voilà pourquoi 1875 a donné du vin de qualité inférieure à celle de 1874. « On comprend dès lors, dit l'*Annuaire,* combien est mauvaise la pratique des vignerons qui resserrent chaque cep de vigne autour de son tuteur, comme s'ils craignaient pour lui l'action vivifiante de la lumière » ; elle a pour conséquence l'amoindrissement des récoltes.

Dans le Midi, les cultivateurs aiment à dire : Tant vaut l'eau, tant vaut la terre ; peut-être qu'un jour on dira : Tant vaut la lumière, tant vaut l'herbe. L'actinomètre pourrait devenir un instrument populaire, un instrument bourgeois, comme le thermomètre, le baromètre ou la montre de poche, qui, à l'origine, n'étaient accessibles qu'aux initiés. C'est ainsi que chaque jour des voies nouvelles s'ouvrent aux pionniers du progrès, que des horizons plus étendus se découvrent à mesure que la science nous procure des points de vue plus élevés ; mais plus on avance, et plus la route qui reste à parcourir semble s'allonger et le but fuir devant nous.

FIN.

Paris. - - Imprimerie de GAUTHIER-VILLARS, quai des Augustins, 55.